

**LAPORAN STUDI KELAYAKAN
PENELITIAN TERAPAN – PENELITIAN PRODUK VOKASI**



IPB University
— Bogor Indonesia —

**Rekayasa Stasiun Mesin Aplikator Fungisida Cabai
Terintegrasi Robot Cerdas Deteksi Penyakit Antraknosa
Berbasis Artificial Intelligence, Sensor dan Mikrokontroler**

TIM PENGUSUL

**Dr. Ridwan Siskandar, S.Si., M.Si.
Dr. Inna Novianty, S.Si., M.Si.
Dr. Undang, S.P., M.Si.**

**INSTITUT PERTANIAN BOGOR
SEPTEMBER
2024**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia Nya sehingga kami dapat menyelesaikan laporan Studi Kelayakan (*Feasibility Study*) dari penelitian yang berjudul Rekayasa Stasiun Mesin Aplikator Fungisida Cabai Terintegrasi Robot Cerdas Deteksi Penyakit Antraknosa Berbasis Artificial Intelligence, Sensor dan Mikrokontroler. *Feasibility study* ini disusun dengan tujuan untuk lebih memahami tentang kelayakan usaha atau bisnis dari penelitian yang dikembangkan terkait apakah dapat dikatakan layak/tidaknya.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu terealisasinya laporan *Feasibility Study* ini. Penulis sangat menyadari laporan ini masih belum menemukan kata sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna hasil yang lebih baik lagi.

Semoga laporan *Feasibility Study* ini dapat berguna bagi penulis dan bagi semua pembaca, semoga apa yang penulis bahas di sini dapat dijadikan tambahan ilmu pengetahuan. Terima kasih.

Salam hormat
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR LAMPIRAN	iv
BAB I	1
IKHTISAR STUDI KELAYAKAN	1
BAB II	2
TINJAUAN PUSTAKA	2
2.1. Aspek Kebutuhan Pelanggan/Konsumen	2
2.2. Aspek Kondisi Pasar	3
2.3. Aspek Hukum	3
2.4. Aspek Teknis dan Teknologi	4
2.5. Aspek Keuangan	4
2.6. Aspek Ekonomi dan Sosial	5
2.7. Aspek Lingkungan	5
BAB III	7
ASPEK-ASPEK DALAM <i>FEASIBILITY STUDY</i>	7
3.1. Aspek Kebutuhan Pelanggan/ Konsumen	7
3.2. Aspek Kondisi Pasar	9
3.3. Aspek Hukum	11
3.4. Aspek Teknis dan Teknologi	13
3.5. Aspek Finansial	30
3.6. Aspek Ekonomi & Sosial	33
3.7. Aspek Lingkungan	36
DAFTAR PUSTAKA	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 (a) Desain 3D; (b) Implementasi mesin	144
Gambar 2 Motor stepper penggerak <i>bogie</i>	155
Gambar 3 ESP32	155
Gambar 4 <i>Webcam</i>	166
Gambar 5 NVIDIA Jetson Nano	166
Gambar 6 Ilustrasi arsitektur CNN	177
Gambar 7 Desain mekanik pompa <i>sprayer</i> dan stasiun fungisida	188
Gambar 8 Arduino Mega2560	188
Gambar 9 Motor 350W	199
Gambar 10 LCD 5 inchi	200
Gambar 11 BTS 7960	211
Gambar 12 FlySky FS-i6 <i>remote control</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 13 Implementasi mekanik kamera dan aplikator	22
Gambar 14 Hasil data validasi menggunakan 261 citra yang dipilih secara acak dari data training	23
Gambar 15 Grafik debit <i>nozzle sprayer</i> terhadap stasiun fungisida 5-liter pada 1,2, dan 4 <i>nozzle</i>	255
Gambar 16 Hasil integrasi sistem pendekripsi dan aplikator pada: (a) sistem gerak; (b) sistem monitoring	277

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Penilaian Aspek Kebutuhan Pelanggan/Konsumen	8
Tabel 2 Penilaian Aspek Kondisi Pasar	10
Tabel 3 Penilaian Aspek Hukum	12
Tabel 4 Spesifikasi Arduino mega2560	199
Tabel 5 <i>Confusion matrix</i> pengujian lapangan yang disesuaikan dengan model CNN (Nalle <i>et al.</i> 2022)	23
Tabel 6 Perhitungan nilai ukuran kemampuan sistem berdasarkan rumus (Nalle <i>et al.</i> 2022)	244
Tabel 7 Pengaruh jarak objek terhadap lebar penyemprotan <i>nozzle</i>	266
Tabel 8 <i>Confusion matrix</i> pengujian pembacaan 100, 150, dan 200 RPM	288
Tabel 9 Pengaruh luas sebaran aplikasi terhadap RPM	288
Tabel 10 Penilaian Aspek Teknis dan Teknologi	299
Tabel 11 Penilaian Aspek Keuangan	322
Tabel 12 Penilaian Aspek Ekonomi dan Sosial	344
Tabel 13 Penilaian Aspek Lingkungan	377

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Desain (2D dan 3D) mekanik keseluruhan ARM	45
Lampiran 2 Desain (2D dan 3D) part ARM, part engsel penggerak, part penggerak actuator atas	46
Lampiran 3 Desain (2D dan 3D) part engsel penggerak	47
Lampiran 4 Desain (2D dan 3D) part penggerak actuator atas	48
Lampiran 5 Desain (2D dan 3D) part penjepit actuator	49
Lampiran 6 Desain rancangan roda	50
Lampiran 7 Desain robot	51
Lampiran 8 Gambar Teknik robot	52
Lampiran 9 <i>Code</i> program pin terhubung ke Arduino mega	53
Lampiran 10 <i>Code</i> program pembacaan <i>channel receiver</i>	54
Lampiran 11 Hasil augmentasi gambar	55
Lampiran 12 Hasil pelabelan gambar	56
Lampiran 13 Data latih	57
Lampiran 14 Data uji	58
Lampiran 15 Data validasi	59
Lampiran 16 Pengujian lapang	60
Lampiran 17 <i>Code</i> program kendali sistem gerak maju/mundur dan belok roda	61

BAB I

IKHTISAR STUDI KELAYAKAN

Komponen terbesar yang menjadi penghambat tingkat produksi cabai berasal dari serangan OPT (Organisme Pengganggu Tanaman). Penyakit antraknosa menjadi penyakit utama penyerang cabai yang dapat menyebabkan kehilangan hasil panen 20-100%. Pentingnya pengendalian resiko gagal panen dalam usaha tani sangat disadari manfaatnya, apalagi adanya keterbatasan waktu dan sumber daya manusia terhadap luasnya wilayah pertanian. Saat ini penerapan mekanisasi dan *artificial intelligence* pertanian sebagai komponen teknologi utama dalam usaha tani di Indonesia masih tergolong rendah.

Hingga saat ini, aplikator fungisida pada cabai umumnya dilakukan secara manual oleh tangan petani. Hanya sedikit petani, bahkan itu pun petani yang bekerja pada unit tertentu yang memanfaatkan bantuan teknologi *drone* untuk proses penyemprotan fungisida. Disamping harga *drone* yang tidak terjangkau oleh kantong petani, permasalahan lainnya adalah ketidakmampuan petani menggunakan drone (tidak ramah petani). Hal ini berdampak kepada (i) kesehatan petani. Jika penyemprotan fungisida tetap dilakukan secara manual, maka petani yang akan merasakan secara langsung dampak toksiknya; (ii) kesehatan cabai. Proses penyemprotan fungisida secara manual tidak memberikan efisiensi dan efektifitas penggunaan cairan fungisida (penyimpangan ketepatan droplet) dan; (iii) kesehatan lingkungan. Droplet fungisida yang tidak tepat zona target tentunya membahayakan kesuburan tanah. Oleh karena itu peranan Teknologi Tepat Guna merupakan alternatif yang sangat membantu menyelesaikan masalah. Mengacu pada masalah ini, maka peneliti akan melakukan sebuah riset “Rekayasa Stasiun Mesin Aplikator Fungisida Cabai Terintegrasi Robot Cerdas Deteksi Penyakit Antraknosa Berbasis *Artificial Intelligence*, Sensor dan Mikrokontroler”.

Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan suatu rekayasa mesin pertanian yang dapat membantu petani dalam melakukan proses penyemprotan fungisida yang ramah terhadap kesehatan petani, ramah terhadap pengetahuan petani, dan dapat memberikan efisiensi dan efektifitas penggunaan cairan fungisida berbasis teknologi *artificial intelligence*, sensor dan mikrokontroler.

Kata kunci: *artificial intelligence*; cabai; penyakit antraknosa; robot deteksi; stasiun mesin aplikator fungisida.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Studi kelayakan bisnis dapat didefinisikan sebagai penelitian atau analisis untuk mengevaluasi rencana bisnis tertentu guna menentukan apakah bisnis tersebut layak dijalankan. Studi ini juga mencakup rencana operasional bisnis secara rutin untuk mencapai keuntungan maksimal dalam jangka waktu yang tidak ditentukan (Dian dan Suri 2022). Studi kelayakan bisnis, yang sering disebut sebagai *feasibility study* adalah sebuah upaya untuk memahami secara mendalam tentang usaha yang akan dijalankan, dengan tujuan untuk menilai apakah gagasan atau usulan proyek tersebut layak untuk direalisasikan. Studi ini penting dilakukan agar perusahaan dapat menghindari berbagai risiko di masa depan, yang mungkin timbul dari ketidakpastian ekonomi, politik, teknologi, sosial, dan perubahan perilaku konsumen.

Walaupun studi kelayakan bisnis telah dilakukan dengan baik, tidak ada jaminan 100% bahwa usaha yang akan dijalankan pasti berhasil. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan kegagalan meliputi ketidaklengkapan data dan informasi yang dikumpulkan, karena adanya hambatan seperti privasi data yang membuat informasi yang tersedia tidak sepenuhnya akurat. Selain itu, kegagalan juga bisa terjadi jika implementasi tidak sesuai dengan rencana atau pedoman yang telah ditetapkan, yang mungkin disebabkan oleh kurangnya pengawasan atau tindakan yang tidak etis oleh pelaksana, yang pada akhirnya dapat merugikan usaha.

Studi kelayakan bisnis mencakup tujuh aspek penting yang harus ditinjau agar usaha dapat terhindar dari risiko kerugian. Aspek-aspek tersebut meliputi aspek kebutuhan pelanggan/konsumen, aspek kondisi pasar, aspek hukum, aspek teknis dan teknologi, aspek keuangan, aspek ekonomi dan sosial, dan aspek lingkungan. Dengan menganalisis ketujuh aspek tersebut secara menyeluruh, suatu usaha akan lebih mudah mendapatkan dukungan modal dari investor atau kreditur, dan usaha tersebut dapat dijalankan dengan lebih aman dari risiko kerugian yang mungkin terjadi.

2.1. Aspek Kebutuhan Pelanggan/Konsumen

Aspek pasar dan pemasaran. Analisis permintaan yang mengungkapkan tren kebutuhan terhadap suatu produk menjadi salah satu alat penting bagi manajemen sebuah usaha (Pakereng *et al.* 2022). Sebuah bisnis membutuhkan strategi yang tepat untuk memasarkan produk yang dijual. Dalam aspek pelanggan, terdapat banyak hal yang perlu dipertimbangkan untuk merumuskan strategi yang efektif dalam memasarkan produk yang akan ditawarkan (Wijayanto dan Setiawan 2023). Kebutuhan pelanggan atau konsumen dalam bidang pertanian, khususnya dalam pengelolaan

tanaman cabai, sangat menekankan pada efisiensi dan efektivitas penggunaan teknologi dalam menanggulangi penyakit tanaman.

Saat ini, banyak petani masih menggunakan metode tradisional seperti *hand sprayer* atau *knapsack sprayer* yang memerlukan tenaga kerja manual dan berpotensi menyebabkan paparan langsung terhadap pestisida yang berbahaya. Dengan demikian, ada kebutuhan yang signifikan untuk teknologi yang dapat meningkatkan produktivitas dan keamanan, seperti robot deteksi dan aplikator fungisida otomatis.

2.2. Aspek Kondisi Pasar

Kelayakan pasar menilai permintaan untuk output proyek dan lanskap kompetitif. Ini termasuk menganalisis tren pasar, preferensi konsumen, dan strategi penetapan harga. Misalnya, analisis kelayakan usaha kecil dan menengah (UKM) sering kali mencakup pemeriksaan menyeluruh terhadap kondisi pasar untuk memastikan bahwa produk memenuhi kebutuhan konsumen sambil tetap berkelanjutan secara lingkungan (Sari 2023). Memahami dinamika pasar sangat penting untuk menyelaraskan tujuan proyek dengan realitas ekonomi.

Melakukan analisis pasar yang tepat akan menjadi kunci keberhasilan bagi bisnis yang sedang kita rintis. Analisis yang efektif akan menghasilkan data bisnis yang akurat dan bermanfaat untuk perencanaan bisnis kita di masa mendatang (Agus Wibowo 2022). Kondisi pasar untuk mesin aplikator fungisida berbasis AI di Indonesia sangat menjanjikan, terutama karena tingginya permintaan akan solusi pertanian yang efisien dan modern di tengah tantangan produksi cabai yang terus meningkat.

Meskipun adopsi teknologi pertanian masih rendah, potensi pasar domestik besar, dengan tren pertanian pintar yang terus berkembang dan dukungan kuat dari pemerintah. Dengan strategi yang menekankan pada keterjangkauan, kemudahan penggunaan, dan keunggulan teknologi, mesin ini memiliki peluang besar untuk diterima oleh petani kecil hingga menengah dan menjadi solusi inovatif dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan sektor pertanian di Indonesia.

2.3. Aspek Hukum

Analisis aspek hukum bertujuan untuk memastikan apakah rencana bisnis secara yuridis dapat dinyatakan layak atau tidak. Jika rencana bisnis yang tidak layak secara hukum tetap dijalankan, bisnis tersebut akan menghadapi risiko besar, termasuk kemungkinan dihentikan oleh otoritas berwenang atau mendapat protes dari masyarakat. Analisis ini mengevaluasi legalitas rencana bisnis yang akan dibangun dan dioperasikan di suatu wilayah, dengan memastikan kepatuhannya terhadap hukum dan peraturan yang berlaku di wilayah tersebut (Halim 2021).

Aspek hukum terkait penggunaan teknologi robotik dan aplikator fungisida di Indonesia mencakup regulasi mengenai penggunaan pestisida dan dampaknya terhadap

lingkungan serta kesehatan manusia. Implementasi teknologi ini harus mematuhi peraturan yang ada untuk memastikan bahwa penggunaannya tidak merusak lingkungan atau mengganggu kesehatan masyarakat. Hal ini juga termasuk perlunya sertifikasi dan standarisasi alat-alat yang digunakan dalam pertanian untuk memastikan keamanan dan efektivitasnya.

2.4. Aspek Teknis dan Teknologi

Aspek ini mengevaluasi apakah teknologi yang dibutuhkan untuk suatu proyek tersedia dan mampu memenuhi persyaratan proyek tersebut. Kelayakan teknis mencakup penilaian efisiensi teknologi yang digunakan, seperti sistem pengolahan limbah air terdesentralisasi, yang telah terbukti efisien secara operasional serta memberikan manfaat lingkungan (Swan 2023). Selain itu, penerapan teknologi canggih dalam proyek energi terbarukan, seperti sistem energi surya, menekankan pentingnya kelayakan teknis dalam mencapai tujuan keberlanjutan (Bandaru *et al.* 2021).

Aspek teknis dan teknologi dalam ide bisnis ini memiliki penilaian yang tergolong baik (Yahya *et al.* 2023). Dari sudut pandang teknis, pengembangan robot deteksi dan aplikator fungisida memerlukan integrasi antara sistem penginderaan dan aktuator yang presisi. Teknologi yang digunakan meliputi sensor kamera berbasis AI untuk mendeteksi penyakit antraksosa pada cabai dan sistem kendali jarak jauh menggunakan mikrokontroler seperti NodeMcu ESP8266. Sistem ini harus dirancang untuk bekerja secara efisien di berbagai kondisi lahan dan cuaca, dengan kemampuan untuk menyesuaikan penyemprotan berdasarkan tingkat keparahan penyakit yang terdeteksi.

2.5. Aspek Keuangan

Aspek keuangan dalam perencanaan bisnis meliputi kebutuhan modal, sumber pendanaan, serta perkiraan pendapatan dan biaya dalam periode tertentu. Dengan demikian, fungsi keuangan mencakup perancangan dan pengambilan keputusan terkait investasi, pembiayaan, dan distribusi dividen. Tujuan dari fungsi ini adalah mendukung kelancaran bisnis dengan menjaga kondisi-kondisi yang berkaitan dengan faktor-faktor keuangan agar aktivitas perusahaan dapat berjalan dengan optimal (Sari 2019).

Aspek ini menilai kelayakan finansial suatu proyek, mencakup analisis biaya dan manfaat serta potensi profitabilitasnya. Kelayakan ekonomi sangat penting untuk memastikan proyek tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga berkelanjutan secara finansial. Sebagai contoh, penelitian menunjukkan bahwa proyek seperti produksi biodiesel bisa menjadi layak secara ekonomi jika mempertimbangkan keberlanjutan dan faktor sosial selain profitabilitas (Neto 2017). Begitu pula, penilaian ekonomi terhadap solusi biogas menunjukkan bahwa meskipun biaya awal tinggi, penghematan

jangka panjang dan manfaat lingkungan dapat membuat investasi ini beralasan (Hagman 2018).

Aspek keuangan mencakup analisis biaya dan manfaat dari penerapan teknologi ini di lahan pertanian cabai. Biaya awal untuk pengembangan dan implementasi robot deteksi dan aplikator mungkin tinggi, namun diharapkan dapat dikompensasi oleh peningkatan hasil panen dan pengurangan biaya tenaga kerja serta bahan kimia dalam jangka panjang. Pengembalian investasi juga dapat dihitung dari peningkatan kualitas produk dan pengurangan kerugian akibat penyakit tanaman.

2.6. Aspek Ekonomi dan Sosial

Memahami dampak sosial dari suatu proyek sangat penting untuk memastikan penerimaan dan keberhasilannya. Ini mencakup evaluasi dukungan dari komunitas, potensi penciptaan lapangan kerja, serta dampak pada penduduk lokal. Selain itu, aspek sosial dalam studi kelayakan sering kali mencakup pertimbangan kesehatan masyarakat, yang sangat penting dalam proyek-proyek yang melibatkan pengelolaan limbah dan produksi energi (Halima 2024).

Ekonomi merupakan salah satu aspek utama yang paling dicari oleh kaum urban maupun imigran saat berpindah ke kota. Aspek ekonomi tidak hanya berkaitan dengan lapangan pekerjaan dan faktor-faktor ekonomi lainnya, tetapi juga mencakup pemenuhan kebutuhan masyarakat. Oleh karena itu, ketersediaan barang-barang pokok dan fasilitas informal menjadi indikator penting dalam aspek ekonomi yang tidak bisa diabaikan (Rio Sayang Juliandi *et al.* 2021).

Penggunaan teknologi cerdas dalam pertanian cabai diharapkan dapat memberikan dampak positif secara ekonomi dengan meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya operasional. Secara sosial, teknologi ini dapat mengurangi risiko kesehatan bagi petani yang biasanya terpapar bahan kimia berbahaya saat melakukan penyemprotan secara manual. Peningkatan efisiensi dan keamanan ini juga dapat meningkatkan minat generasi muda untuk terlibat dalam sektor pertanian.

2.7. Aspek Lingkungan

Aspek ini menitikberatkan pada potensi dampak lingkungan dari suatu proyek, termasuk penggunaan sumber daya, polusi, dan hilangnya keanekaragaman hayati. Penilaian lingkungan sangat penting dalam studi kelayakan, karena membantu mengidentifikasi dampak negatif yang mungkin terjadi dan strategi untuk menguranginya. Sebagai contoh, penilaian mendalam terhadap opsi penghilangan karbon dioksida menunjukkan pentingnya mempertimbangkan dampak lingkungan bersamaan dengan faktor ekonomi dan sosial (Borchers 2023). Selain itu, penggunaan penilaian siklus hidup (LCA) dalam mengevaluasi bahan baku berbasis bio menyoroti pentingnya memahami dampak lingkungan dalam kelayakan proyek (Reeb *et al.* 2016).

Aspek lingkungan hidup mencakup elemen dari kegiatan, produk, atau jasa organisasi yang berinteraksi atau memiliki potensi untuk berinteraksi dengan lingkungan. Aspek lingkungan yang signifikan adalah yang memiliki satu atau lebih dampak penting terhadap lingkungan. Dampak lingkungan diartikan sebagai perubahan pada lingkungan, baik yang merugikan maupun yang menguntungkan, baik secara keseluruhan maupun sebagian, yang disebabkan oleh aspek lingkungan dari suatu organisasi (Razif 2018).

Aspek lingkungan terkait penggunaan teknologi ini melibatkan pengurangan penggunaan bahan kimia berlebihan yang dapat mencemari tanah dan air. Penggunaan aplikator yang presisi diharapkan dapat mengurangi jumlah pestisida yang diperlukan dan mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem sekitar. Selain itu, teknologi ini juga dirancang untuk mengurangi emisi dari penggunaan alat berbahan bakar fosil, seperti *motor sprayer*, yang saat ini umum digunakan.

BAB III

ASPEK-ASPEK DALAM *FEASIBILITY STUDY*

3.1. Aspek Kebutuhan Pelanggan/ Konsumen

Pentingnya memahami kebutuhan pelanggan dalam pengembangan teknologi pertanian sangat krusial untuk memastikan bahwa solusi yang dihasilkan benar-benar efektif dan dapat diterima di lapangan. Petani sebagai pelanggan utama memiliki kebutuhan yang spesifik, terutama dalam konteks peningkatan produktivitas, efisiensi operasional, dan perlindungan kesehatan.

1. Efisiensi dan kemudahan

Menjadi salah satu prioritas utama bagi petani. Saat ini, proses penyemprotan fungisida pada tanaman cabai masih dilakukan secara manual, yang memakan waktu dan tenaga yang cukup besar. Selain itu, metode manual sering kali tidak efektif dalam menjangkau seluruh bagian tanaman secara merata, sehingga potensi penyebaran penyakit masih tinggi. Petani membutuhkan teknologi yang tidak hanya mempercepat proses penyemprotan, tetapi juga memastikan bahwa setiap bagian tanaman mendapatkan perlindungan yang optimal. Teknologi aplikator fungisida berbasis *artificial intelligence* (AI) dapat menjawab kebutuhan ini dengan memberikan akurasi tinggi dalam deteksi penyakit dan penyemprotan yang tepat sasaran.

2. Kesehatan dan keamanan

Penggunaan fungisida secara manual membawa risiko langsung terhadap kesehatan petani, karena paparan terus-menerus terhadap bahan kimia berbahaya. Dalam jangka panjang, hal ini dapat menyebabkan masalah kesehatan serius, seperti gangguan pernapasan, keracunan, atau bahkan penyakit kronis. Petani membutuhkan solusi yang dapat mengurangi paparan ini, seperti mesin aplikator yang dapat dioperasikan dari jarak aman, sehingga risiko kesehatan dapat diminimalkan. Selain itu, teknologi yang digunakan harus dirancang agar mudah dipahami dan dioperasikan oleh petani dengan tingkat pendidikan dan pengalaman teknologi yang bervariasi, sehingga penggunaannya tidak menambah beban kerja.

3. Biaya dan keterjangkauan

Sebagian besar petani cabai di Indonesia adalah petani kecil dengan sumber daya finansial yang terbatas. Investasi dalam teknologi baru sering kali dianggap sebagai beban tambahan, terutama jika harga teknologi tersebut terlalu tinggi. Oleh karena itu, mesin aplikator fungisida harus dirancang dengan mempertimbangkan

keterjangkauan, baik dari segi biaya pembelian maupun biaya operasional. Penggunaan bahan-bahan yang terjangkau, serta desain yang efisien dan mudah dirawat, akan meningkatkan kemungkinan adopsi teknologi ini di kalangan petani kecil. Teknologi yang terlalu mahal atau sulit dioperasikan akan menghadapi resistensi, sehingga aspek ini harus diperhatikan secara serius dalam tahap desain dan pengembangan produk.

4. Kesimpulan Analisis Kebutuhan Pelanggan/Konsumen

Tabel 1 Penilaian Aspek Kebutuhan Pelanggan/Konsumen

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Efisiensi dan Kemudahan Penggunaan				✓		Mudah digunakan, tetapi memerlukan sedikit panduan tambahan.
2	Keamanan dan Kesehatan Petani				✓		Melindungi petani dengan baik, risiko paparan bahan kimia rendah.
3	Efektivitas Penyemprotan Fungisida				✓		Penyemprotan merata, namun ada beberapa area yang tidak terlindungi sepenuhnya.
4	Keterjangkauan dan Biaya Operasional				✓		Terjangkau untuk sebagian besar petani kecil, tetapi biaya operasional sedikit tinggi.
5	Keandalan dan Ketahanan Teknologi				✓		Tahan lama, tetapi memerlukan perawatan rutin.
6	Peningkatan Produktivitas				✓		Peningkatan produktivitas terlihat, tetapi masih ada beberapa hambatan dalam penggunaannya.
7	Dukungan Teknis dan Pelatihan				✓		Pelatihan cukup tersedia, tetapi beberapa pengguna membutuhkan lebih banyak dukungan teknis.

Evaluasi:

Nilai 1: Sangat Jelek ; Nilai 2: Jelek ; Nilai 3: Cukup ; Nilai 4: Baik ; Nilai 5: Sangat Baik

Kesimpulan:

Jika rata-rata nilai evaluasi ≥ 3 dan tidak ada aspek penilaian dengan nilai di bawah 3, maka teknologi layak digunakan oleh pelanggan (petani).

3.2. Aspek Kondisi Pasar

Aspek kondisi pasar menjadi salah satu faktor penentu keberhasilan adopsi teknologi baru di sektor pertanian. Memahami dinamika pasar, termasuk potensi, persaingan, dan tren, sangat penting untuk memastikan bahwa teknologi yang dikembangkan dapat diterima dan digunakan secara luas oleh para petani.

1. Potensi pasar

Indonesia memiliki keunggulan dalam sektor pertanian, dengan sekitar 13% dari total luas wilayahnya digunakan untuk lahan pertanian dan sebagian besar penduduknya bekerja sebagai petani. Ditambah lagi, kondisi geografis yang subur dan curah hujan yang melimpah memungkinkan berbagai jenis tanaman dapat dibudidayakan. Potensi ini memberikan peluang besar untuk meningkatkan produktivitas pertanian di tingkat nasional (Zulkifli 2021). Potensi pasar untuk teknologi mesin aplikator fungisida berbasis *artificial intelligence* di Indonesia sangat besar, terutama mengingat luasnya lahan pertanian cabai di berbagai wilayah. Cabai merupakan salah satu komoditas pertanian yang paling penting di Indonesia, dengan permintaan yang terus meningkat baik di pasar domestik maupun internasional. Tingginya serangan penyakit antraknosa yang menyebabkan kerugian besar bagi petani menciptakan kebutuhan mendesak akan solusi yang efektif dan efisien. Teknologi ini menawarkan peluang untuk meningkatkan hasil panen, yang pada akhirnya akan mendorong permintaan di pasar. Selain itu, dengan populasi petani cabai yang besar, pasar domestik menjadi target utama untuk pengenalan teknologi ini.

2. Analisis persaingan

Analisis persaingan menunjukkan bahwa meskipun ada beberapa teknologi yang telah diperkenalkan untuk membantu proses penyemprotan fungisida, adopsi teknologi tersebut masih terbatas. Sebagian besar teknologi yang ada, seperti drone untuk penyemprotan, masih belum terjangkau oleh petani kecil karena harga yang relatif tinggi dan kompleksitas operasionalnya. Selain itu, banyak dari teknologi ini belum sepenuhnya disesuaikan dengan kondisi lokal, seperti jenis tanaman, pola cuaca, dan ketersediaan sumber daya. Mesin aplikator yang diusulkan memiliki keunggulan kompetitif karena dirancang khusus untuk kebutuhan petani cabai di Indonesia, dengan fokus pada keterjangkauan, kemudahan penggunaan, dan efisiensi.

3. Tren pasar global

Tren pasar global menunjukkan peningkatan minat dan adopsi teknologi berbasis AI dan otomatisasi dalam sektor pertanian. Negara-negara maju telah memanfaatkan teknologi ini untuk meningkatkan produktivitas dan mengatasi tantangan dalam manajemen pertanian. Tren ini juga mulai terlihat di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, meskipun masih dalam tahap awal. Adanya kesadaran yang semakin tinggi akan pentingnya teknologi dalam menghadapi tantangan pertanian modern, seperti perubahan iklim dan keterbatasan tenaga kerja, membuka peluang besar bagi penetrasi pasar teknologi baru ini. Selain itu, tren pasar juga mengindikasikan peningkatan minat terhadap produk pertanian yang dihasilkan secara lebih ramah lingkungan, sehingga teknologi yang dapat mendukung pertanian berkelanjutan akan semakin diminati.

4. Kesimpulan Analisis Kondisi Pasar

Tabel 2 Penilaian Aspek Kondisi Pasar

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Potensi Pasar Teknologi			✓			Potensi pasar besar, tetapi adopsi teknologi masih rendah di kalangan petani kecil.
2	Tingkat Persaingan di Pasar			✓			Persaingan cukup rendah di pasar domestik, namun ada ancaman dari teknologi impor yang lebih canggih.
3	Kesiapan Pasar untuk Adopsi Teknologi			✓			Pasar mulai tertarik pada teknologi, tetapi sebagian besar masih menggunakan metode tradisional.
4	Tren Pertanian Pintar dan Keberlanjutan			✓			Tren global mendukung teknologi ini, namun implementasi di Indonesia masih dalam tahap awal.
5	Biaya dan Harga di Pasar Domestik			✓			Harga teknologi masih tinggi untuk petani kecil, meskipun ada peluang penurunan harga dengan skala produksi.
6	Hambatan dan Tantangan dalam Penetrasi Pasar			✓			Ada beberapa hambatan, termasuk keterbatasan akses ke teknologi dan kurangnya pendidikan di kalangan petani.

Evaluasi:

Nilai 1: Sangat Jelek ; Nilai 2: Jelek ; Nilai 3: Cukup ; Nilai 4: Baik ; Nilai 5: Sangat Baik

Kesimpulan:

Jika rata-rata nilai evaluasi ≥ 3 dan tidak ada aspek penilaian dengan nilai di bawah 3, maka pasar dianggap layak untuk penetrasi teknologi.

Secara keseluruhan, kondisi pasar saat ini menunjukkan adanya peluang yang signifikan untuk pengembangan dan penerapan mesin aplikator fungisida berbasis AI di Indonesia. Namun, untuk berhasil dalam pasar ini, teknologi yang dikembangkan harus dapat bersaing dengan solusi lain yang ada, memenuhi kebutuhan spesifik petani lokal, dan mengikuti tren pasar yang mengutamakan efisiensi, keberlanjutan, dan keterjangkauan. Dengan strategi pemasaran yang tepat dan dukungan dari pemerintah maupun sektor swasta, teknologi ini berpotensi untuk diterima luas dan memberikan dampak positif bagi sektor pertanian di Indonesia.

3.3. Aspek Hukum

Aspek hukum merupakan elemen yang sangat penting dalam pengembangan dan penerapan teknologi baru di sektor pertanian. Memahami regulasi yang berlaku serta memastikan kepatuhan terhadap hukum dapat mencegah masalah di kemudian hari dan menjamin keberlanjutan teknologi di pasar. Dalam konteks pengembangan mesin aplikator fungisida berbasis artificial intelligence, ada beberapa aspek hukum yang perlu diperhatikan dengan serius.

1. Regulasi penggunaan fungisida

Regulasi penggunaan fungisida menjadi salah satu isu utama. Pemerintah Indonesia melalui berbagai peraturan telah menetapkan standar penggunaan bahan kimia pertanian, termasuk fungisida, untuk memastikan keamanan bagi petani, konsumen, dan lingkungan. Teknologi mesin aplikator ini harus dirancang dan dioperasikan sesuai dengan regulasi tersebut, terutama dalam hal dosis, frekuensi, dan area aplikasi fungisida. Setiap penyimpangan dari standar yang telah ditetapkan dapat berakibat pada sanksi hukum dan reputasi negatif di pasar. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa mesin ini dapat dikalibrasi dan diatur untuk mematuhi batasan penggunaan fungisida yang aman dan efektif sesuai dengan peraturan yang berlaku.

2. Hak kekayaan intelektual (HKI)

Hak Kekayaan Intelektual (HKI) juga memainkan peran penting dalam pengembangan teknologi ini. Perlindungan terhadap inovasi yang dihasilkan melalui paten, hak cipta, atau hak desain industri akan melindungi hasil kerja dari peneliti dan pengembang, serta memberikan keunggulan kompetitif di pasar. Proses pendaftaran paten untuk teknologi yang dikembangkan harus dilakukan segera setelah prototipe berhasil diuji untuk memastikan bahwa inovasi ini tidak dapat disalin atau digunakan tanpa izin oleh pihak lain. Selain itu, pengelolaan HKI yang baik dapat membuka peluang untuk lisensi teknologi kepada pihak ketiga, yang bisa menjadi sumber pendapatan tambahan.

3. Perizinan dan sertifikasi

Perizinan dan sertifikasi adalah langkah wajib sebelum mesin ini dapat diproduksi massal dan dipasarkan. Di Indonesia, alat dan mesin pertanian yang menggunakan teknologi baru harus melalui proses uji dan sertifikasi oleh instansi yang berwenang, seperti Kementerian Pertanian atau Badan Standardisasi Nasional (BSN). Sertifikasi ini tidak hanya membuktikan bahwa mesin tersebut memenuhi standar teknis dan keamanan yang ditetapkan, tetapi juga dapat meningkatkan kepercayaan petani dan pengguna potensial lainnya terhadap produk tersebut. Selain itu, prosedur perizinan juga mencakup evaluasi dampak lingkungan dan kesehatan dari teknologi yang akan diimplementasikan, yang sangat relevan dalam kasus mesin yang beroperasi dengan bahan kimia seperti fungisida.

4. Kepatuhan terhadap regulasi perdagangan

Kepatuhan terhadap regulasi perdagangan dan distribusi juga harus diperhatikan, terutama jika teknologi ini akan dipasarkan di luar negeri. Setiap negara memiliki regulasi yang berbeda terkait impor, distribusi, dan penggunaan mesin pertanian. Oleh karena itu, sebelum ekspansi pasar ke tingkat internasional, penting untuk melakukan studi hukum yang mendalam terkait persyaratan dan regulasi di negara tujuan. Ini termasuk kepatuhan terhadap standar internasional terkait keamanan produk, sertifikasi mutu, dan labelisasi.

5. Kesimpulan Analisis Hukum

Tabel 3 Penilaian Aspek Hukum

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	

1	Kesesuaian dengan Regulasi Penggunaan Fungisida			√	Teknologi sudah sesuai dengan regulasi terkait penggunaan fungisida, namun masih membutuhkan sertifikasi tambahan.
2	Pemenuhan Persyaratan Sertifikasi Produk			√	Masih dalam proses untuk memperoleh sertifikasi nasional, tetapi prosedurnya jelas dan terarah.
3	Kepatuhan terhadap Standar Keselamatan Kerja			√	Memenuhi standar keselamatan, terutama terkait dengan paparan bahan kimia bagi petani.
4	Kesesuaian dengan Aturan Lingkungan Hidup			√	Sesuai dengan regulasi lingkungan, mengurangi dampak pencemaran tanah dan air akibat penyemprotan fungisida berlebih.
5	Perlindungan Hak Kekayaan Intelektual (HKI)			√	Paten dan hak cipta teknologi masih dalam proses pendaftaran.

Evaluasi:

Nilai 1: Sangat Jelek ; Nilai 2: Jelek ; Nilai 3: Cukup ; Nilai 4: Baik ; Nilai 5: Sangat Baik

Kesimpulan:

Jika rata-rata nilai evaluasi ≥ 3 dan tidak ada aspek penilaian dengan nilai di bawah 3, maka teknologi dianggap layak dari segi hukum dan regulasi.

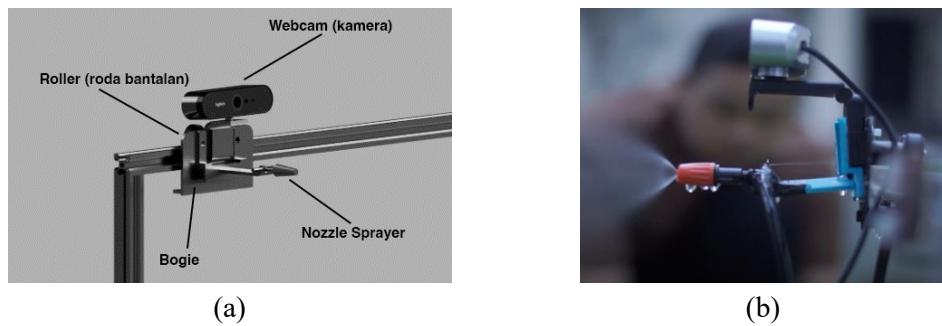
Dengan memahami dan mematuhi semua aspek hukum yang relevan, teknologi mesin aplikator fungisida berbasis *artificial intelligence* dapat dikembangkan dan dipasarkan dengan lancar tanpa hambatan legal yang signifikan. Kepatuhan ini juga akan memastikan bahwa teknologi ini beroperasi dengan aman dan efektif, memberikan manfaat maksimal bagi petani serta mendukung keberlanjutan pertanian di Indonesia.

3.4. Aspek Teknis dan Teknologi

Aspek teknis dan teknologi merupakan fondasi dari pengembangan mesin aplikator fungisida berbasis *artificial intelligence* (AI), karena teknologi ini menggabungkan beberapa elemen teknis yang penting untuk menciptakan alat yang efisien, akurat, dan dapat diandalkan. Fokus utama pada komponen mekanik, elektronik, dan teknologi AI menjadikan mesin ini sebagai solusi inovatif untuk masalah produktivitas dalam pertanian, khususnya pada tanaman cabai.

1. Rangka Mekanis dan Desain Struktural

Mesin ini dirancang untuk mendukung pergerakan otomatis *bogie* (kereta kecil) yang membawa kamera dan *sprayer*. Penggunaan bahan seperti V-slot aluminium memberikan struktur yang kokoh sekaligus ringan, sehingga mesin dapat bergerak dengan stabil dan presisi di sepanjang jalur yang telah ditentukan. Perancangan desain nya terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 (a) Desain 3D; (b) Implementasi mesin

Penggunaan aluminium ini tidak hanya meningkatkan daya tahan mesin, tetapi juga meminimalkan beban total, yang penting untuk menjaga efisiensi energi dalam pengoperasiannya. Rangka dengan panjang 1,5 meter dan tinggi 54 cm memberikan ruang yang cukup bagi mesin untuk bergerak di antara tanaman tanpa merusak tanaman.

2. Sistem Penggerak

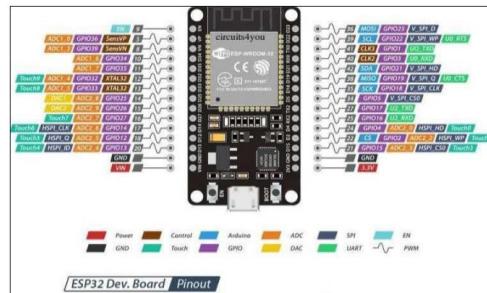
Motor stepper adalah perangkat elektronik yang serupa dengan motor listrik pada umumnya, di mana motor stepper berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa gerakan diskrit (terputus-putus) yang disebut langkah (step), dengan menggunakan prinsip elektromagnetik (Supriyadi *et al.* 2020). Menggunakan motor stepper NEMA 17, yang dikenal karena presisinya dalam kontrol gerakan, seperti pada Gambar 2. Motor *stepper* ini memungkinkan *bogie* untuk bergerak maju dan mundur secara otomatis, dengan kecepatan yang dapat diatur untuk memastikan penyemprotan fungisida dilakukan secara optimal.



Gambar 2 Motor stepper penggerak *bogie*

Untuk memastikan pergerakan yang terukur, mesin dilengkapi dengan *limit switch* pada kedua ujung jalur, yang berfungsi sebagai penanda untuk membalik arah gerakan *bogie* secara otomatis ketika mencapai batas jalur. Sistem otomatisasi ini mengurangi kebutuhan intervensi manual, sehingga meningkatkan efisiensi kerja dan memastikan bahwa penyemprotan dilakukan dengan tingkat presisi yang tinggi.

Motor *stepper* ini dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32, yang terhubung dengan driver motor L298N. Espressif Systems mengembangkan teknologi baru sebagai penerus dari ESP8266, yaitu ESP32. Mikrokontroler ini memiliki keunggulan dengan integrasi chip *Wi-Fi* dan *Bluetooth*, yang menjadikannya sangat cocok untuk membangun sistem *Internet of Things* (IoT).



Gambar 3 ESP32
(Sumber: <https://circuits4you.com>)

Selain itu, ESP32 memiliki desain yang tangguh, konsumsi daya yang efisien, dan dapat berfungsi sebagai perangkat pendukung (Dwinanto dan Yulianto 2024). Pada Gambar 3 terdapat penjelasan dari pin-pin dari ESP32. ESP32 memiliki GPIO sebanyak 36 pin yang merupakan *General Purpose Input Output* yang berfungsi sebagai pin masukan dan keluaran analog maupun digital.

3. Sistem Pendekripsi Penyakit Berbasis AI

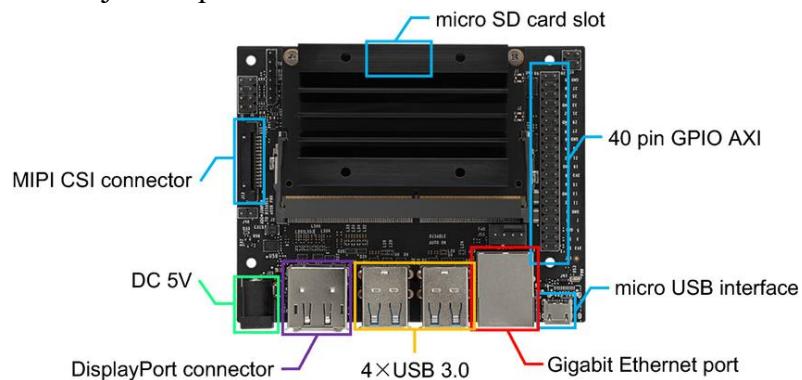
Sistem ini adalah inti dari teknologi ini. Mesin ini dilengkapi dengan kamera Xiaovv 1080p yang dipasang pada *bogie* dan berfungsi sebagai alat untuk menangkap citra tanaman cabai saat bergerak di sepanjang jalur. Fisik kamera Xiaovv 1080p ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Webcam

(Sumber: <https://down-sg.img.susercontent.com/file/242ecd961e02277711ee7601c72c84e2>)

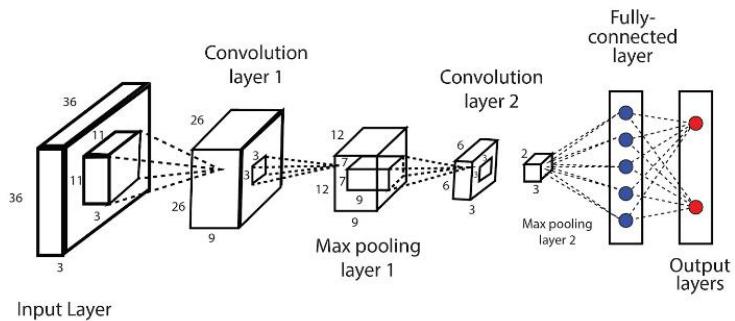
Kamera ini terhubung dengan *mini computer* NVIDIA Jetson Nano 4GB untuk pemrosesan data. Dimana NVIDIA Jetson Nano ini yang bertugas memproses citra yang diambil. NVIDIA Jetson Nano dilengkapi dengan GPU, yang membuatnya memiliki kinerja lebih cepat dibandingkan dengan Raspberry Pi, terutama dalam hal mendekripsi dan menyimpan data (Suhartono *et al.* 2022). Bentuk fisik NVIDIA Jetson Nano ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 NVIDIA Jetson Nano

(Sumber: <https://thingsboard.io/images/devices-library/nvidia-jetson-nano-developer-kit.jpg>)

Citra tersebut kemudian dianalisis menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) yang telah dilatih untuk mendeteksi penyakit antraksosa pada cabai. Salah satu algoritma dalam *deep learning* adalah *Convolutional Neural Network* (CNN), yang digunakan untuk memproses data berupa gambar. Pada Gambar 6 menunjukkan contoh dari arsitektur yang dimiliki oleh *Convolutional Neural Network* (CNN).

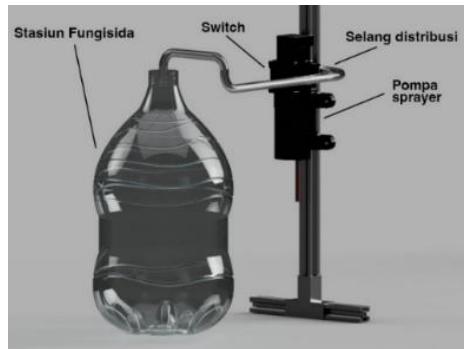


Gambar 6 Ilustrasi arsitektur CNN
 (Sumber: <https://chemindigest.com/wp-content/uploads/2022/03/GSP-Crop-Science-Plans-Manufacturing-Expansion-in-Gujarat.jpg>)

Metode *Convolutional Neural Network* (CNN) sangat populer dalam bidang deep learning karena CNN mampu mengekstrak fitur-fitur dari input berupa gambar, kemudian mengurangi dimensi gambar tersebut tanpa mengubah karakteristik aslinya (Azmi et al. 2023). Proses konvolusi atau *convolution* dilakukan dengan menggunakan matriks untuk memfilter gambar. Teknologi AI ini memberikan kemampuan deteksi yang cepat dan akurat, memungkinkan mesin untuk melakukan identifikasi dini terhadap penyakit sebelum menyebar lebih luas. Tingkat akurasi, presisi, dan *recall* yang dihasilkan oleh model CNN ini memastikan bahwa mesin dapat bekerja dengan efisien tanpa memerlukan pengawasan manusia secara langsung.

4. Sistem Aplikator Fungisida

Dilengkapi dengan pompa *sprayer* bertekanan 80 PSI yang dioperasikan oleh motor DC 12V. Pompa ini mampu menyemprotkan fungisida secara efisien, dengan nozzle sprayer yang memiliki sudut aplikasi 108 derajat untuk memastikan cakupan penyemprotan yang luas dan merata. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Dengan kemampuan ini, mesin dapat menyemprotkan fungisida secara selektif hanya pada area tanaman yang terinfeksi penyakit.

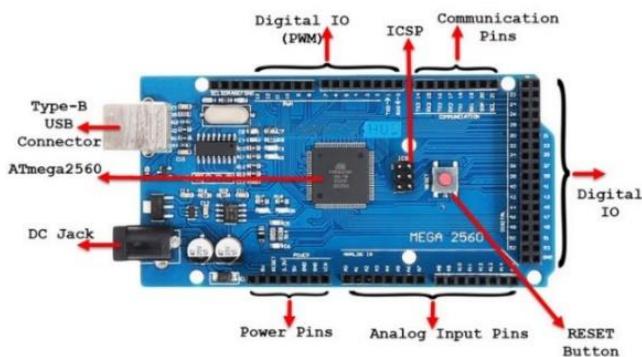


Gambar 7 Desain mekanik pompa *sprayer* dan stasiun fungisida

Hal ini tidak hanya menghemat penggunaan fungisida, tetapi juga mengurangi dampak lingkungan akibat penyemprotan berlebihan. Uji coba menunjukkan bahwa mesin ini dapat menyemprotkan fungisida pada area seluas 12,55 meter persegi per menit, menjadikannya alat yang sangat efisien dalam penggunaan waktu dan sumber daya.

5. Sistem Kendali dan Antarmuka Pengguna

Penggunaan mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai otak dari sistem kendali adalah pilihan yang tepat untuk aplikasi ini. Chip ATmega16U2 menggantikan chip ATmega8U2 (Arifin *et al.* 2016). Arduino Mega 2560 memiliki spesifikasi yang sangat cocok untuk tugas-tugas kendali yang membutuhkan banyak input dan output, seperti yang dibutuhkan oleh mesin aplikator fungisida ini. Fisik Arduino Mega ditunjukkan pada Gambar 8. Sedangkan spesifikasi Arduino Mega ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 8 Arduino Mega2560

(Sumber: www.arduino.cc)

Tabel 4 Spesifikasi Arduino mega2560

<i>Digital I/O Pins</i>	54 (of which 15 provide PWM output)
<i>Analog Input Pins</i>	16
<i>DC Current per I/O Pin</i>	40 mA
<i>DC Current for 3.3V</i>	50 mA
<i>Pin</i>	
<i>Flash Memory</i>	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

Dengan 54 digital I/O pins, 16 analog input pins, dan kemampuan memproses berbagai sinyal kontrol, Arduino Mega 2560 memungkinkan integrasi sensor, aktuator, dan motor dengan mudah. Mikrokontroler ini juga mendukung berbagai fungsi penting seperti pengolahan sinyal dari sensor optik dan thermal, serta mengatur operasi motor dan aktuator secara presisi sesuai dengan kondisi yang terdeteksi.

Penggunaan motor listrik 24V 350W sebagai penggerak utama memberikan kekuatan yang cukup untuk mengoperasikan mesin di berbagai kondisi lapangan. Motor listrik ini memiliki keunggulan dalam hal daya tahan dan efisiensi, serta dapat dioperasikan dengan sumber daya yang relatif stabil, yaitu dari baterai. Motor ini dihubungkan dengan gear dan rantai yang memungkinkan gerakan yang stabil dan kuat, bahkan pada medan yang berat seperti lahan pertanian yang berbatu atau berpasir. Fisik dari motor 350W ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Motor 350W
(Sumber: junapgroup.en.alibaba.com)

Penggunaan *gear* dengan ukuran yang sesuai memastikan bahwa torsi yang dihasilkan cukup untuk menggerakkan sistem tanpa membebani motor secara berlebihan. Motor listrik 350W 24V juga dapat diaplikasikan dalam sistem levitasi

magnetik, seperti yang diperlihatkan dalam desain sistem levitasi menggunakan motor listrik 350W (Arifudin 2015). Selain itu, motor ini juga dapat berfungsi sebagai pengganti sumber energi listrik utama, sebagaimana diterapkan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang digunakan sebagai sumber energi utama di sebuah rumah (Setiawan H 2021). Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai motor listrik 350W 24V, diperlukan penelitian yang lebih spesifik dan dapat dilakukan melalui jurnal-jurnal yang lebih fokus pada motor listrik (Agus Surya Adi P *et al.* 2022).

LCD adalah perangkat elektronik yang menggunakan kristal cair yang ditempatkan di antara lembaran plastik atau kaca, sehingga mampu menampilkan titik, garis, simbol, huruf, angka, atau gambar. LCD dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan tampilannya, yaitu LCD teks dan LCD grafis. LCD teks menampilkan huruf atau angka, sementara LCD grafis menampilkan format berupa titik, garis, dan gambar (Andri *et al.* 2023). Menggunakan LCD 5 inci yang menampilkan informasi secara *real-time*, seperti status deteksi penyakit dan kondisi penyemprotan. Dengan tampilan yang mudah dibaca dan antarmuka yang intuitif, pengguna, khususnya petani, dapat dengan mudah memahami kondisi mesin dan melakukan penyesuaian yang diperlukan. Fisik dari LCD 5 inchi ditunjukkan pada Gambar 10.

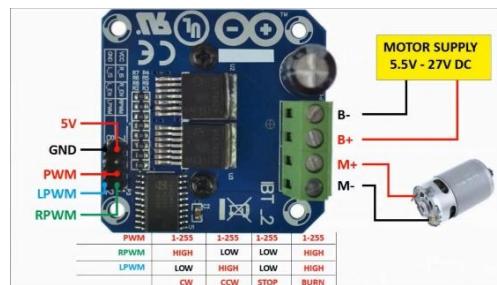


Gambar 10 LCD 5 inchi

(Sumber: <https://core-electronics.com.au/waveshare-5inch-lcd-800x480.html>)

Selain itu, robot ini juga dilengkapi dengan kontrol jarak jauh menggunakan FlySky FS-i6, memungkinkan pengguna untuk mengendalikan mesin dari jarak aman. Fitur ini penting untuk memastikan bahwa petani tidak terpapar langsung dengan bahan kimia selama proses penyemprotan. Sistem kendali jarak jauh menggunakan FlySky FS-i6 merupakan inovasi penting yang mendukung pengoperasian mesin secara aman dan efisien. Transmitter menggunakan 4 buah baterai A2 sehingga menghasilkan tegangan sebesar 6 volt DC karena transmitter memerlukan tegangan sebesar 6 volt DC (Wahyudi dan Ariandi 2024).

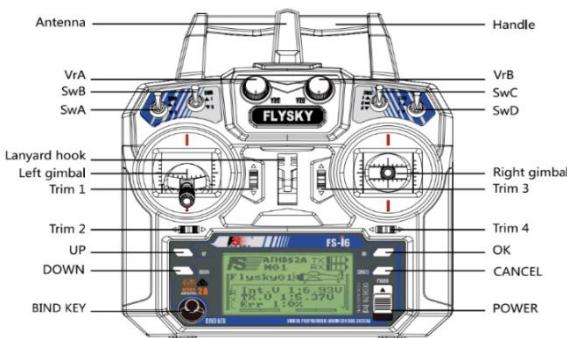
BTS7960 adalah driver motor DC yang dapat menghasilkan arus hingga 43A dan mendukung fungsi PWM untuk pengaturan daya. Driver ini dapat menerima tegangan DC dari 5,5V hingga 27V dan input tegangan dari 3,3V hingga 5V. Menggunakan rangkaian full H-bridge, BTS7960 dilengkapi dengan proteksi overheating dan arus lebih (Sari dan Sukardi 2020). Fisik dari BTS 7960 ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 BTS 7960
(Sumber: www.arduino.cc)

Dalam bidang pertanian, BTS7960 sering digunakan dalam sistem kontrol alat tanam benih jagung yang dikendalikan oleh Arduino Uno. Di sini, BTS7960 mengatur kecepatan dan arah putaran motor DC, memastikan jarak tanam yang tepat. Selain itu, BTS 7960 juga membantu mengatur dan menjaga kestabilan arus listrik yang masuk ke motor, sehingga motor dapat bekerja dengan aman dan tidak terjadi kerusakan pada motor akibat arus yang berlebihan

FlySky FS-i6 adalah pemancar 2.4 GHz dengan jangkauan hingga 500 meter, memungkinkan petani untuk mengoperasikan mesin dari jarak aman tanpa harus berada di dekat mesin yang sedang beroperasi dengan bahan kimia. Sistem kendali ini juga mendukung pengaturan berbagai fungsi mesin, seperti kecepatan motor, ketinggian lengan, dan posisi pisau, sehingga pengguna dapat menyesuaikan operasi mesin sesuai dengan kondisi lapangan secara *real-time*. Fisik remot FlySky FS-i6 ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 FlySky FS-i6

6. Proses Pengujian dan Validasi Sistem

Bagian ini menunjukkan bahwa semua komponen bekerja secara sinergis untuk memberikan hasil yang optimal. Pergerakan bogie berjalan dengan lancar, sistem AI mampu mendeteksi penyakit dengan tingkat akurasi yang tinggi, dan sistem penyemprotan memberikan hasil yang merata tanpa pemborosan fungisida. Dengan hasil pengujian yang positif, teknologi ini menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam praktik pertanian cabai, terutama dalam hal pengendalian penyakit dan penghematan sumber daya.

A. Pengujian Kinerja Mekanis

Pada tahap ini, fokusnya adalah menguji mekanisme pergerakan *bogie* yang membawa kamera dan *sprayer* fungisida. Pengujian dilakukan dengan memastikan bahwa motor *stepper* NEMA 17, yang dihubungkan dengan *timing belt*, dapat menggerakkan *bogie* dengan stabil. Mekanik ini diuji untuk memastikan bahwa pergerakan maju (*forward*) dan mundur (*reverse*) berjalan mulus di sepanjang jalur yang dibuat dari V-slot aluminium seperti pada Gambar 13. *Bogie* yang membawa kamera dan *sprayer* harus bergerak dengan stabil tanpa ada gangguan mekanis.



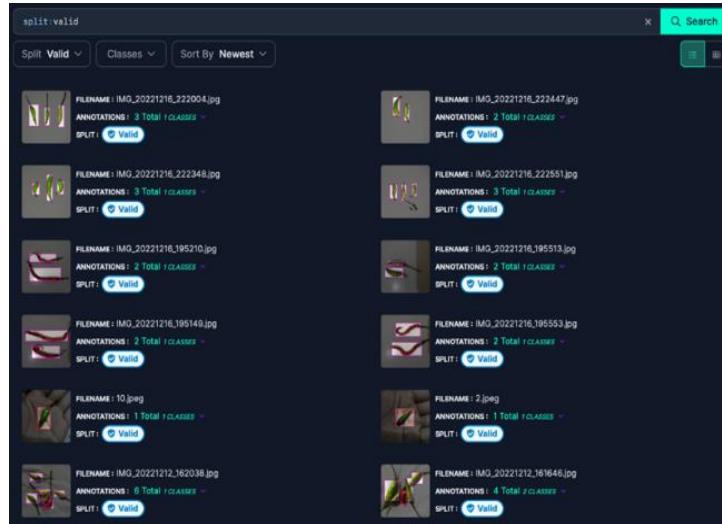
Gambar 13 Implementasi mekanik kamera dan aplikator

Selain itu, pompa *sprayer* juga diuji untuk memastikan aliran cairan fungisida dari stasiun fungisida menuju *nozzle sprayer* bekerja dengan baik. Pada pengujian ini, dilakukan pengecekan tegangan (volt) yang diterima oleh motor pompa untuk memastikan distribusi daya berjalan sesuai kebutuhan.

B. Pengujian Sistem Deteksi Penyakit

Sistem deteksi penyakit menggunakan kamera Xiaovv 1080p yang menangkap citra tanaman cabai dan memprosesnya melalui NVIDIA Jetson Nano. Proses ini melibatkan pemrosesan citra oleh model CNN yang telah

dilatih untuk mendeteksi penyakit antraknosa. Pengujian dilakukan dengan mengumpulkan citra sampel cabai yang terkena penyakit dan mengujinya dengan model yang dibangun.



Gambar 14 Hasil data validasi menggunakan 261 citra yang dipilih secara acak dari data training

Setelah itu, model diuji dengan 261 citra yang dipilih secara acak dari dataset untuk memvalidasi akurasi model dalam mendeteksi penyakit, ditunjukkan pada Gambar 14. Hasil dari pengujian dievaluasi menggunakan *confusion matrix*, yang menunjukkan jumlah deteksi yang benar (*True Positive*, *True Negative*) dan yang salah (*False Positive*, *False Negative*).

Tabel 5 *Confusion matrix* pengujian lapangan yang disesuaikan dengan model CNN (Nalle *et al.* 2022)

Kondisi	Prediksi	
	Cabai-Patek	Cabai-Segar
Cabai-Patek	TP = 139	FN = 5
Cabai-Segar	FP = 3	TN = 141

Hasil *confusion matrix* pada tiap kelasnya dihitung menggunakan persamaan yang termuat dalam Tabel 2. untuk menganalisis nilai *accuracy*, *recall* dan *precision* berdasarkan (Nalle *et al.* 2022).

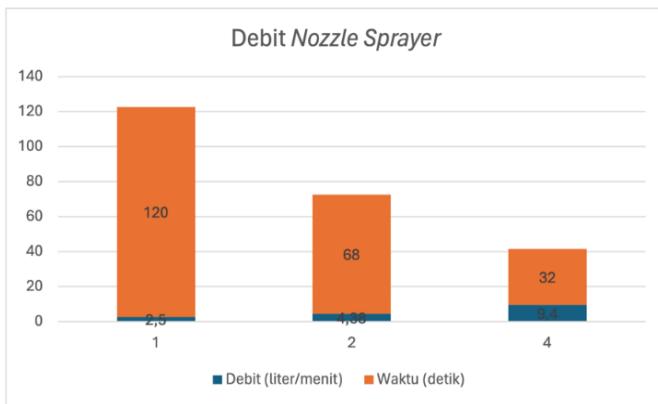
Tabel 6 Perhitungan nilai ukuran kemampuan sistem berdasarkan rumus
(Nalle *et al.* 2022)

Nilai yang Diukur	Rumus Perhitungan	Hasil
<i>Accuracy</i>	$\frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\%$	97,2%
<i>Precision</i>	$\frac{TP}{TP + FP} \times 100\%$	97,8%
<i>Recall</i>	$\frac{TP}{TP + FN} \times 100\%$	96,5%

Berdasarkan Tabel 6, tingkat akurasi sebesar 97,2% menunjukkan bahwa kinerja model dengan metode yang digunakan sudah cukup memadai untuk mendeteksi penyakit Anthracnose pada buah cabai. Akurasi dan kecepatan model yang tinggi dapat membantu petani dalam mengidentifikasi penyakit cabai lebih awal, sehingga memungkinkan pengambilan tindakan pengendalian yang tepat. Kesalahan dalam pengklasifikasian dataset menjadi salah satu faktor yang menyebabkan akurasi tidak mencapai 100%. Selain itu, waktu pelatihan yang terlalu lama bisa menyebabkan error saat pengujian, yang akhirnya menurunkan tingkat akurasi.

C. Pengujian Sistem Aplikator Fungisida

Pengujian ini berfokus pada kinerja sistem aplikator fungisida, terutama terkait debit cairan yang dihasilkan oleh *nozzle sprayer* dan pola distribusi fungisida. Pengujian dilakukan dengan variasi jumlah *nozzle* (1, 2, dan 4 *nozzle*) dan jarak antara *nozzle* dan tanaman (misalnya, 10 cm, 20 cm, dan 30 cm). Hasilnya menunjukkan bahwa debit cairan meningkat dengan jumlah *nozzle*, namun tidak linier, karena faktor gesekan di dalam selang yang menyebabkan penurunan tekanan aliran (*headloss*).



Gambar 15 Grafik debit *nozzle sprayer* terhadap stasiun fungisida 5-liter pada 1,2, dan 4 *nozzle*

Gambar 15 menunjukkan durasi yang dibutuhkan oleh 1, 2, dan 4 *nozzle* untuk melakukan penyemprotan menggunakan stasiun fungisida berkapasitas 5 liter. Debit setiap *nozzle* dihitung dengan membagi kapasitas stasiun fungisida dengan waktu yang diperlukan untuk penyemprotan pada masing-masing *nozzle* yang diuji. Secara spesifik, 1 *nozzle* membutuhkan waktu 120 detik untuk menghabiskan 5 liter cairan fungisida, sedangkan 2 *nozzle* memerlukan 68 detik, dan 4 *nozzle* membutuhkan 32 detik.

Hasil uji menunjukkan bahwa debit untuk 1 *nozzle* adalah 0,0417 liter/detik atau 2,5 liter/menit, 2 *nozzle* menghasilkan debit 0,0734 liter/detik atau 4,38 liter/menit, dan 4 *nozzle* menghasilkan debit 0,156 liter/detik atau 9,4 liter/menit. Debit *sprayer* tidak meningkat secara linier dengan jumlah *nozzle* yang digunakan karena faktor seperti panjang dan diameter selang yang memengaruhi kinerja sistem. Selain itu, peningkatan jumlah cabang pada *nozzle* menyebabkan tambahan gesekan sekitar 0,01, yang berujung pada penurunan tekanan atau *headloss* saat penyemprotan (Nazila et al. 2023)

Pengujian distribusi pola dengan *grid patternator* sederhana juga menunjukkan bahwa jarak antara *nozzle* dan objek penyemprotan mempengaruhi hasil secara signifikan. Penyemprotan dari jarak 30 cm menghasilkan area cakupan yang lebih luas dibandingkan dengan jarak 20 cm dan 10 cm.

Selain itu, pengujian pola distribusi juga dilakukan untuk menentukan seberapa luas area yang bisa dijangkau dengan jarak semprot yang berbeda. Pengujian ini menunjukkan bahwa pada jarak 30 cm, cakupan semprotan paling lebar dibandingkan jarak yang lebih pendek (10 cm dan 20 cm).

Tabel 7 Pengaruh jarak objek terhadap lebar penyemprotan *nozzle*

Jarak objek (cm)	Debit (liter/detik)	Sudut Aplikator (°)	Lebar (cm)
30	0,0417	108	82,58
20	0,0417	108	55,05
10	0,0417	108	7,52

Tabel 7 menunjukkan dampak jumlah *nozzle* terhadap lebar distribusi pada jarak tertentu antara *nozzle* dan tanaman. Dengan menambah jumlah *nozzle* menjadi 1, 2, dan 4 pada jarak 30 cm, lebar distribusi yang dihasilkan adalah 82,5 cm, 98 cm, dan 113,5 cm. Pada jarak 20 cm, lebar distribusi yang diperoleh adalah 55 cm, 72 cm, dan 89,05 cm, sedangkan pada jarak 10 cm, hasilnya adalah 27,5 cm, 46 cm, dan 64,8 cm. Hasil pengujian lapangan dengan tanaman cabai yang tingginya antara 50 hingga 70 cm menunjukkan bahwa satu *nozzle* sudah cukup untuk mencakup seluruh tanaman dengan lebar distribusi sebesar 82,5 cm.

D. Pengujian Integrasi Sistem

Hasil uji kinerja integrasi sistem menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat bekerja secara sinergis dan efisien. Komponen-komponen ini mencakup mekanisme gerak, pompa dan stasiun fungisida, otomatisasi aplikator, model CNN mendekripsi penyakit, serta sistem monitoring penyakit. Mekanisme gerak yang digunakan, seperti motor *stepper*, berhasil menggerakkan perangkat di sepanjang jalur yang ditentukan, memastikan sistem dapat beroperasi dengan lancar. Pompa dan stasiun fungisida juga berfungsi dengan baik dalam mendistribusikan cairan secara stabil tanpa kebocoran, sehingga fungisida dapat disemprotkan secara efektif melalui *nozzle*. Sistem otomatisasi aplikator mengontrol kapan dan bagaimana fungisida disemprotkan, bekerja bersamaan dengan mekanisme gerak untuk mencakup area yang ditargetkan.

Model *Convolutional Neural Network* (CNN) yang digunakan untuk mendekripsi penyakit Anthracnose pada tanaman cabai juga beroperasi dengan baik, mampu mengidentifikasi gejala penyakit dan menampilkan hasil deteksi tersebut pada layar monitor secara akurat. Selain itu, sistem monitoring terus memantau hasil deteksi penyakit dan kinerja penyemprotan, memberikan informasi real-time mengenai kondisi tanaman dan proses aplikasi fungisida.

Meskipun seluruh komponen ini berhasil diintegrasikan, ada batasan di mana sistem aplikator fungisida dan pendekripsi penyakit tidak dapat beroperasi secara bersamaan. Artinya, penyemprotan fungisida dan pendekripsi penyakit dilakukan secara bergantian, bukan secara simultan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh desain sistem yang mengoptimalkan kinerja masing-masing

komponen, serta mencegah terjadinya gangguan atau interferensi antara penggerak dan pengambilan gambar deteksi. Namun, meskipun ada keterbatasan ini, keseluruhan sistem tetap beroperasi dengan stabil dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.



Gambar 16 Hasil integrasi sistem pendeksi dan aplikator pada: (a) sistem gerak; (b) sistem monitoring

Aplikator berfungsi dengan baik dalam mendistribusikan cairan fungisida dari stasiun tanpa kebocoran dan dengan debit yang stabil, sementara kamera pendeksi mampu mendekksi penyakit Anthracnose dan menampilkan data pada layar LCD Waveshare 5 inci. Sistem penggerak motor *stepper* berhasil menggerakkan *bogie* menyusuri jalur dengan arah maju dan mundur. Dengan demikian, keseluruhan sistem dapat beroperasi dengan baik, stabil, dan sesuai spesifikasi yang ditetapkan. Terlihat pada Gambar 16.

E. Evaluasi Kinerja Sistem

Pada bagian ini, sistem dievaluasi berdasarkan hasil pengujian sebelumnya. Model deteksi penyakit dievaluasi dengan *confusion matrix*, yang menghitung akurasi, presisi, dan *recall* dari deteksi penyakit. Model ini memiliki akurasi 97,2%, yang menunjukkan bahwa sistem mampu mendekksi penyakit antraknosa dengan sangat baik. Selain itu, kinerja sistem aplikator fungisida juga dievaluasi berdasarkan kecepatan motor penggerak (RPM). Pengujian menunjukkan bahwa pada kecepatan 200 RPM, luas aplikasi fungisida mencapai 12,55 meter persegi per menit, yang merupakan hasil terbaik dari pengujian kecepatan yang bervariasi.

Pengujian monitoring pembacaan penyakit Anthracnose dilakukan dengan mengukur *accuracy*, *precision*, dan *recall* dari model CNN Yolo pada variasi kecepatan motor *stepper* sebesar 100, 150, dan 200 putaran per menit (RPM). Berdasarkan Tabel 5, terlihat adanya hubungan negatif antara kecepatan motor dan nilai *accuracy*, *precision*, serta *recall* dalam sistem monitoring penyakit

Anthracnose. Saat RPM meningkat, nilai *accuracy*, *precision*, dan *recall* mengalami penurunan.

Tabel 8 *Confusion matrix* pengujian pembacaan 100, 150, dan 200 RPM

100 RPM			150 RPM			200 RPM		
Kondisi	Prediksi		Kondisi	Prediksi		Kondisi	Prediksi	
	Cabai-Patek	Cabai-Segar		Cabai-Patek	Cabai-Patek		Cabai-Patek	Cabai-Patek
Cabai-Patek	TP = 125	FN = 19	Cabai-Patek	TP = 118	FN = 26	Cabai-Patek	TP = 107	FN = 37
Cabai-Segar	FP = 17	TN = 127	Cabai-Segar	FP = 25	TN = 119	Cabai-Segar	FP = 33	TN = 111

Tabel 9 Pengaruh luas sebaran aplikasi terhadap RPM

Kecepatan Motor Penggerak (RPM)	Luas Aplikasi (m ² /Menit)
100	6,29
125	7,85
150	9,42
175	10,98
200	12,55

Tabel 9 menyajikan hasil pengujian sistem aplikator fungisida yang disesuaikan dengan kecepatan penggerak, menghasilkan cakupan area aplikasi seluas 12,55 m². Uji lapangan menunjukkan bahwa pada kecepatan motor penggerak 200 RPM, nozzle aplikator mampu menyemprot lahan sepanjang 12 meter dalam waktu 0,57 menit, dengan kebutuhan fungisida sebesar 2,39 liter untuk satu kali penyemprotan.

7. Kesimpulan Analisis Teknis dan Teknologi

Tabel 10 Penilaian Aspek Teknis dan Teknologi

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Kinerja Mekanis				√		Kinerja mekanis sudah cukup baik, tetapi perlu penyempurnaan secara bertahap.
2	Kinerja Sistem Pendekripsi Penyakit				√		Kinerja sistem deteksi sudah baik, dapat membaca hama penyakit antranoksa. Tetapi perlu penyempurnaan pada intensitas-intensitas tertentu.
3	Efisiensi Penggunaan Fungisida				√		Fungisida yang digunakan dikontrol secara baik dari kinerja sistem deteksi penyakit.
4	Keandalan Sistem Kendali				√		Sistem kendali mudah dipahami dan digunakan. Dapat digunakan pada kondisi medan basah dan kering.
5	Ketahanan Komponen				√		Komponen memiliki ketahanan yang baik, karena telah dibantu oleh driver dari setiap komponen.
6	Kemudahan Integrasi dan Pengoperasian				√		Kemudahan pengoperasian diterapkan pada alat dan sistem ini dengan baik, sehingga pengguna mudah dengan cepat memahami cara pengoperasianya.
7	Kecepatan dan Ketepatan Penyemprotan				√		Penyemprotan cepat dan akurat, meskipun ada sedikit variasi dalam kecepatan motor pada kondisi tertentu.

Evaluasi:

Nilai 1: Sangat Jelek ; Nilai 2: Jelek ; Nilai 3: Cukup ; Nilai 4: Baik ; Nilai 5: Sangat Baik

Kesimpulan:

Jika rata-rata nilai evaluasi ≥ 3 dan tidak ada aspek penilaian dengan nilai di bawah 3, maka teknologi dianggap layak digunakan dari segi teknis dan teknologi.

Secara keseluruhan, aspek teknis dan teknologi dari mesin aplikator fungisida berbasis AI ini menunjukkan tingkat inovasi yang tinggi. Dengan memanfaatkan kombinasi antara teknologi mekanik, elektronik, dan AI, mesin ini tidak hanya mampu

meningkatkan produktivitas petani, tetapi juga memberikan solusi yang ramah lingkungan dan mudah dioperasikan.

3.5. Aspek Finansial

Aspek keuangan dalam pengembangan dan implementasi mesin aplikator fungisida berbasis artificial intelligence adalah salah satu elemen kunci yang menentukan keberhasilan proyek ini. Analisis keuangan yang mendalam diperlukan untuk memastikan bahwa teknologi ini dapat diproduksi, dipasarkan, dan diadopsi secara luas oleh petani dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti biaya pengembangan, harga jual, dan potensi pengembalian investasi.

1. Biaya Pengembangan Teknologi

Biaya pengembangan teknologi merupakan komponen utama yang perlu diperhitungkan secara rinci. Proses pengembangan mesin ini melibatkan biaya yang signifikan untuk penelitian dan pengembangan (R&D), termasuk pembelian komponen seperti mikrokontroler Arduino Mega 2560, motor listrik 24V 350W, dan sistem kendali jarak jauh FlySky FS-i6. Selain itu, ada biaya untuk desain mekanis, fabrikasi prototipe, dan pengujian yang memerlukan sumber daya manusia yang terampil dan peralatan khusus. Biaya pengembangan ini harus dihitung dengan cermat untuk menentukan total investasi awal yang diperlukan hingga mesin siap untuk diproduksi secara massal.

2. Analisis Biaya Produksi

Analisis biaya produksi dan penetapan harga jual sangat krusial untuk memastikan bahwa mesin dapat dijual dengan harga yang kompetitif sekaligus memberikan keuntungan yang memadai. Biaya produksi mencakup pembelian bahan baku, proses manufaktur, perakitan, serta biaya operasional lainnya seperti tenaga kerja, listrik, dan penyimpanan. Mengingat target pasar utama adalah petani kecil dengan keterbatasan finansial, harga jual mesin perlu disesuaikan agar tetap terjangkau namun mampu menutup seluruh biaya yang dikeluarkan serta menghasilkan keuntungan. Skala ekonomi juga perlu diperhitungkan, di mana peningkatan volume produksi bisa menurunkan biaya per unit dan meningkatkan profitabilitas. Dengan target pasar seperti petani, industri, dan lembaga pemerintah, diperkirakan penjualan tahun pertama mencapai 100 unit dengan harga per unit Rp 15 juta, yang menghasilkan pendapatan Rp 1,5 miliar. Pada tahun kedua dan seterusnya, penjualan diharapkan meningkat dua kali lipat setiap tahunnya seiring adopsi dan penetrasi pasar yang semakin luas. Pendapatan tambahan juga dapat diperoleh melalui layanan pemeliharaan, dukungan teknis, serta penjualan perangkat lunak analisis data yang menyertainya.

Dengan biaya pengembangan total Rp 140 juta dan biaya produksi per unit Rp 10 juta, serta harga jual Rp 15 juta per unit, break-even point dicapai setelah menjual sekitar 28 unit. Dengan asumsi penjualan 100 unit di tahun pertama, proyek ini diperkirakan mencapai titik impas pada pertengahan tahun pertama, dan mulai menghasilkan keuntungan pada paruh kedua tahun pertama.

3. Model Pembiayaan dan Skema Pendanaan

Model pembiayaan dan skema pendanaan perlu disusun untuk mendukung produksi dan distribusi mesin ini. Mengingat bahwa pengembangan teknologi seperti ini memerlukan modal awal yang besar, ada beberapa opsi pendanaan yang dapat dipertimbangkan, termasuk pendanaan dari investor, pinjaman bank, atau subsidi dari pemerintah. Program-program pemerintah yang mendukung inovasi teknologi pertanian dan keberlanjutan lingkungan juga dapat menjadi sumber pendanaan potensial. Selain itu, model pembiayaan yang melibatkan kemitraan dengan koperasi petani atau lembaga keuangan mikro dapat membantu dalam memfasilitasi pembelian mesin oleh petani dengan sistem pembayaran yang lebih fleksibel, seperti kredit atau cicilan.

4. Return on Investment (ROI)

Analisis pengembalian investasi (ROI) adalah alat penting untuk menilai kelayakan ekonomi dari proyek ini. ROI akan menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan investasi awal berdasarkan penjualan mesin dan margin keuntungan yang dihasilkan. Perhitungan ROI harus mempertimbangkan faktor risiko seperti fluktuasi harga bahan baku, perubahan kondisi pasar, dan potensi adopsi teknologi oleh petani. Selain itu, simulasi skenario juga dapat dilakukan untuk mengantisipasi berbagai kondisi ekonomi dan pasar yang dapat mempengaruhi tingkat pengembalian investasi.

5. Resiko Keuangan

Mitigasi risiko keuangan harus direncanakan dengan baik untuk memastikan stabilitas keuangan proyek ini. Risiko utama termasuk potensi kenaikan biaya bahan baku, rendahnya tingkat adopsi oleh petani, dan perubahan regulasi yang dapat mempengaruhi produksi atau distribusi. Strategi mitigasi yang dapat diterapkan termasuk penguncian harga bahan baku melalui kontrak jangka panjang, diversifikasi produk, dan penyesuaian cepat terhadap perubahan pasar dan regulasi.

6. Kesimpulan Analisis Finansial

Tabel 11 Penilaian Aspek Keuangan

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Biaya Pengembangan Teknologi				√		Biaya pengembangan relatif tinggi, namun sebanding dengan hasil inovasi yang dihasilkan.
2	Biaya Produksi dan Perakitan				√		Biaya produksi masih tinggi, tetapi dapat menurun dengan skala ekonomi yang lebih besar.
3	Biaya Operasional (Pemeliharaan dan Perawatan)				√		Biaya operasional tergolong terjangkau, tetapi perawatan rutin dibutuhkan untuk menjaga performa mesin.
4	Keterjangkauan Harga untuk Petani				√		Harga cukup terjangkau untuk petani menengah, tetapi masih agak mahal untuk petani kecil.
5	Pengembalian Investasi (ROI)				√		Pengembalian investasi cukup baik, namun memerlukan waktu lebih lama untuk mencapai titik impas (break-even).
6	Potensi Keuntungan dari Produksi Massal				√		Potensi keuntungan tinggi jika produksi massal dilakukan, mengurangi biaya per unit.

Evaluasi:

Nilai 1: Sangat Jelek; Nilai 2: Jelek; Nilai 3: Cukup; Nilai 4: Baik; Nilai 5: Sangat Baik

Kesimpulan:

Jika rata-rata nilai evaluasi ≥ 3 dan tidak ada aspek penilaian dengan nilai di bawah 3, maka teknologi dianggap layak secara finansial untuk dipasarkan dan diadopsi.

Secara keseluruhan, aspek keuangan dalam proyek ini harus direncanakan dengan matang untuk memastikan bahwa mesin aplikator fungisida berbasis AI ini dapat diproduksi dan dipasarkan secara efisien, dengan mempertimbangkan semua faktor biaya, pendanaan, dan potensi keuntungan. Dengan perencanaan keuangan yang solid, teknologi ini tidak hanya akan menjadi inovasi yang bermanfaat bagi petani, tetapi juga sebuah bisnis yang berkelanjutan dan menguntungkan.

3.6. Aspek Ekonomi & Sosial

Aspek ekonomi dan sosial memainkan peran penting dalam mengukur dampak yang akan dihasilkan oleh pengembangan dan penerapan mesin aplikator fungisida berbasis artificial intelligence. Analisis ini membantu dalam memahami bagaimana teknologi ini dapat memengaruhi kesejahteraan petani, kontribusinya terhadap perekonomian lokal, serta dampaknya terhadap dinamika sosial di komunitas pertanian.

1. Ekonomi

Sisi ekonomi, pengenalan mesin aplikator fungisida ini berpotensi meningkatkan produktivitas pertanian cabai secara signifikan. Dengan kemampuan mendeteksi dan menyemprotkan fungisida secara tepat sasaran, mesin ini dapat mengurangi tingkat kehilangan hasil panen yang disebabkan oleh penyakit antraknosa, yang selama ini menjadi salah satu penyebab utama kerugian bagi petani.

Peningkatan produktivitas ini dapat berdampak langsung pada peningkatan pendapatan petani, terutama bagi mereka yang bergantung pada tanaman cabai sebagai sumber utama penghasilan. Dengan hasil panen yang lebih baik, petani dapat meningkatkan daya beli mereka, yang pada gilirannya dapat meningkatkan perekonomian lokal melalui peningkatan konsumsi dan investasi di sektor-sektor lain.

2. Dampak Sosial

Dalam konteks dampak sosial, adopsi teknologi ini dapat berkontribusi pada perubahan pola kerja di sektor pertanian. Saat ini, banyak petani yang masih melakukan penyemprotan fungisida secara manual, yang tidak hanya memakan waktu dan tenaga, tetapi juga berisiko bagi kesehatan mereka. Dengan adanya mesin ini, proses penyemprotan dapat dilakukan lebih efisien dan aman, mengurangi beban kerja fisik petani dan risiko kesehatan akibat paparan bahan kimia.

Ini dapat meningkatkan kualitas hidup petani, karena mereka dapat mengalokasikan waktu dan tenaga mereka untuk aktivitas produktif lainnya atau untuk meningkatkan kesejahteraan keluarga mereka. Selain itu, dengan teknologi yang lebih mudah dioperasikan, peluang bagi generasi muda untuk kembali tertarik pada pertanian juga dapat meningkat, membantu dalam regenerasi tenaga kerja di sektor ini.

3. Ketimpangan Sosial

Mesin ini juga memiliki potensi untuk mengurangi ketimpangan sosial di komunitas pertanian. Saat ini, akses terhadap teknologi canggih sering kali terbatas pada petani besar atau mereka yang memiliki modal lebih. Namun, dengan desain yang lebih terjangkau dan ramah pengguna, mesin ini dapat diakses oleh petani kecil dan menengah, membantu mereka untuk bersaing secara lebih efektif dengan petani besar. Hal ini dapat berkontribusi pada pemerataan hasil pertanian dan pendapatan, mengurangi kesenjangan ekonomi di antara petani di berbagai wilayah.

4. Keberlanjutan Sosial

Dari perspektif keberlanjutan sosial, teknologi ini juga dapat mendukung pembangunan komunitas yang lebih berdaya. Dengan penghematan waktu dan peningkatan hasil panen, petani dapat lebih aktif dalam kegiatan komunitas atau bahkan memulai usaha baru yang mendukung perekonomian lokal. Selain itu, adopsi teknologi ini dapat mendorong peningkatan pengetahuan dan keterampilan di kalangan petani, terutama dalam hal teknologi pertanian cerdas, yang pada akhirnya dapat memperkuat kapabilitas mereka dalam menghadapi tantangan masa depan di sektor pertanian.

5. Dampak Ekonomi Makro

Dampak ekonomi makro dari teknologi ini juga perlu dipertimbangkan. Peningkatan produksi cabai secara nasional tidak hanya akan meningkatkan pasokan dalam negeri, tetapi juga dapat membuka peluang ekspor yang lebih besar. Dengan demikian, teknologi ini dapat berkontribusi pada peningkatan pendapatan nasional dari sektor pertanian, memperkuat posisi Indonesia sebagai salah satu produsen cabai utama di pasar global. Selain itu, melalui peningkatan efisiensi dan produktivitas, teknologi ini juga dapat membantu mengurangi ketergantungan pada impor pangan, mendukung ketahanan pangan nasional.

6. Kesimpulan Analisis Ekonomi dan Sosial

Tabel 12 Penilaian Aspek Ekonomi dan Sosial

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Dampak Ekonomi terhadap Petani				✓		Meningkatkan pendapatan petani melalui peningkatan hasil panen dan efisiensi operasional.

2	Dampak terhadap Produktivitas Pertanian			√	Produktivitas meningkat, tetapi beberapa petani memerlukan waktu untuk beradaptasi dengan teknologi ini.
3	Keterlibatan Petani dalam Adopsi Teknologi			√	Sebagian besar petani antusias mengadopsi teknologi ini, namun memerlukan lebih banyak pelatihan.
4	Pengurangan Ketergantungan pada Metode Tradisional			√	Teknologi ini mampu mengurangi ketergantungan pada metode tradisional secara bertahap.
5	Pemberdayaan Petani Melalui Teknologi			√	Memberikan kesempatan bagi petani untuk meningkatkan keterampilan teknis mereka dalam pertanian modern.
6	Dampak Sosial terhadap Kesejahteraan Petani			√	Kesejahteraan petani meningkat, terutama dari segi kesehatan dan efisiensi kerja.
7	Penyebaran dan Penerimaan Teknologi di Komunitas			√	Teknologi diterima dengan baik, tetapi penyebarannya masih terbatas di beberapa wilayah terpencil.

Evaluasi:

Nilai 1: Sangat Jelek ; Nilai 2: Jelek ; Nilai 3: Cukup ; Nilai 4: Baik ; Nilai 5: Sangat Baik

Kesimpulan:

Jika rata-rata nilai evaluasi ≥ 3 dan tidak ada aspek penilaian dengan nilai di bawah 3, maka teknologi ini layak dari segi ekonomi dan sosial untuk diterapkan di kalangan petani.

Secara keseluruhan, aspek ekonomi dan sosial dari pengembangan mesin aplikator fungisida berbasis AI ini menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan kesejahteraan petani, memperkuat perekonomian lokal, serta mendorong perubahan sosial yang positif di komunitas pertanian. Dengan perencanaan yang tepat, teknologi ini tidak hanya akan menjadi alat produksi yang efisien, tetapi juga instrumen penting dalam pembangunan ekonomi dan sosial yang berkelanjutan di sektor pertanian.

3.7. Aspek Lingkungan

Aspek lingkungan dalam pengembangan mesin aplikator fungisida berbasis artificial intelligence sangat penting untuk memastikan bahwa teknologi ini tidak hanya meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga berkontribusi pada pelestarian lingkungan. Analisis ini mencakup dampak potensial teknologi terhadap ekosistem, penggunaan sumber daya, dan pengurangan jejak lingkungan dari aktivitas pertanian.

1. Penggunaan Teknologi

Penggunaan teknologi yang lebih efisien dalam penyemprotan fungisida dapat secara signifikan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Penyemprotan fungisida yang dilakukan secara manual sering kali tidak tepat sasaran, menyebabkan penggunaan bahan kimia yang berlebihan dan pencemaran lingkungan, terutama tanah dan sumber air. Dengan teknologi deteksi penyakit berbasis AI, mesin ini dapat menyemprotkan fungisida hanya pada area yang terkena penyakit, mengurangi jumlah bahan kimia yang digunakan dan meminimalkan pencemaran. Efisiensi ini tidak hanya melindungi kesuburan tanah tetapi juga mencegah kontaminasi air tanah dan perairan sekitar yang dapat merugikan flora dan fauna lokal.

2. Penggunaan Sumber Energi

Penggunaan sumber energi yang lebih ramah lingkungan merupakan salah satu keunggulan dari mesin ini. Dengan mengandalkan motor listrik 24V yang ditenagai oleh baterai yang dapat diisi ulang, mesin ini tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca yang biasanya dihasilkan oleh mesin berbahan bakar fosil seperti traktor atau alat pertanian konvensional lainnya. Hal ini berkontribusi pada pengurangan jejak karbon dari aktivitas pertanian, mendukung upaya global dalam mengurangi emisi karbon dan memitigasi perubahan iklim. Selain itu, dengan desain yang memungkinkan penggunaan energi secara efisien, mesin ini dapat beroperasi lebih lama dengan konsumsi energi yang minimal, yang juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan.

3. Desain Mesin

Desain mesin yang mendukung pertanian berkelanjutan juga merupakan aspek penting dari dampak lingkungan. Mesin ini dirancang untuk bekerja dengan baik pada berbagai jenis lahan, termasuk lahan dengan kondisi tanah yang sulit. Kemampuan mesin untuk menggemburkan tanah dengan presisi dan tanpa merusak struktur tanah sangat penting untuk menjaga kualitas tanah dalam jangka panjang. Pengolahan tanah yang tepat dapat meningkatkan kapasitas tanah untuk

menyimpan air, mengurangi erosi, dan meningkatkan kesuburan tanah, yang semuanya berkontribusi pada praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

4. Pengurangan Risiko Terhadap Kesehatan Manusia

Pengurangan risiko terhadap kesehatan manusia dan ekosistem juga merupakan salah satu manfaat lingkungan dari teknologi ini. Dengan mengurangi paparan petani terhadap fungisida, mesin ini juga membantu mengurangi risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh bahan kimia berbahaya. Ini tidak hanya melindungi petani, tetapi juga ekosistem di sekitar area pertanian. Fungisida yang tidak terkontrol dapat merusak organisme non-target seperti serangga penyebuk, burung, dan mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Dengan penyemprotan yang lebih terarah dan tepat, dampak negatif terhadap keanekaragaman hayati dapat diminimalkan.

5. Pengurangan Limbah

Potensi pengurangan limbah dan peningkatan efisiensi sumber daya juga perlu dipertimbangkan. Mesin ini dirancang untuk meminimalkan penggunaan bahan kimia dan energi, yang berarti jumlah limbah pertanian dapat berkurang secara signifikan. Selain itu, dengan pengoperasian yang lebih efisien, mesin ini dapat membantu petani mengoptimalkan penggunaan lahan dan sumber daya air, yang sangat penting dalam menghadapi tantangan kelangkaan sumber daya di masa depan. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya meningkatkan produktivitas pertanian tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan sumber daya yang lebih baik.

6. Kesimpulan Analisis Lingkungan

Tabel 13 Penilaian Aspek Lingkungan

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Pengurangan Penggunaan Fungisida Berlebih				√		Teknologi mampu mengurangi penggunaan fungisida dengan signifikan, mengurangi dampak negatif pada tanah.
2	Dampak Terhadap Kualitas Tanah				√		Kualitas tanah terjaga, tidak ada pencemaran signifikan akibat penyemprotan fungisida yang berlebihan.
3	Dampak Terhadap Sumber Daya Air				√		Penggunaan fungisida yang lebih terarah mengurangi pencemaran

					sumber air di sekitar lahan pertanian.
4	Pengurangan Emisi dan Jejak Karbon			√	Teknologi berbasis listrik ini mengurangi emisi dibandingkan dengan metode berbahan bakar fosil.
5	Pengelolaan Limbah Pertanian			√	Tidak menghasilkan limbah berbahaya yang signifikan, mendukung pertanian berkelanjutan.
6	Keberlanjutan Penggunaan Energi			√	Penggunaan energi listrik lebih ramah lingkungan dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan.
7	Kepatuhan terhadap Regulasi Lingkungan Hidup				Teknologi sesuai dengan regulasi lingkungan lokal dan internasional.

Evaluasi:

Nilai 1: Sangat Jelek ; Nilai 2: Jelek ; Nilai 3: Cukup ; Nilai 4: Baik ; Nilai 5: Sangat Baik

Kesimpulan:

Jika rata-rata nilai evaluasi ≥ 3 dan tidak ada aspek penilaian dengan nilai di bawah 3, maka teknologi dianggap layak secara lingkungan dan ramah terhadap ekosistem.

Secara keseluruhan, aspek lingkungan dari mesin aplikator fungisida berbasis AI ini menunjukkan bahwa teknologi ini tidak hanya inovatif dari segi teknis, tetapi juga mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dengan mempertimbangkan dampak positif terhadap ekosistem, pengurangan emisi, dan perlindungan terhadap kesehatan manusia, mesin ini berpotensi menjadi bagian penting dari upaya global untuk menjaga keseimbangan antara produksi pangan dan pelestarian lingkungan.

BAB IV

KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi terhadap semua aspek yaitu Aspek Kebutuhan Pelanggan/Konsumen, Kondisi Pasar, Aspek Hukum, Teknis dan Teknologi, Keuangan, Ekonomi dan Sosial, serta Aspek Lingkungan dapat disimpulkan bahwa Teknologi mesin aplikator fungisida berbasis *artificial intelligence* (AI) ini layak untuk diadopsi dan diimplementasikan sesuai berikut:

1. Aspek Kebutuhan Pelanggan/Konsumen
Menunjukkan bahwa teknologi ini dapat memenuhi kebutuhan petani dalam hal efisiensi, keamanan, dan peningkatan produktivitas. Meskipun beberapa petani membutuhkan sedikit pelatihan tambahan, teknologi ini mudah digunakan dan melindungi petani dari risiko kesehatan.
2. Aspek Kondisi Pasar
Menilai bahwa potensi pasar untuk teknologi ini sangat besar, dengan tingkat persaingan yang rendah di pasar domestik. Meskipun adopsi teknologi di kalangan petani kecil masih rendah, tren pertanian pintar dan dukungan pemerintah memperkuat kesiapan pasar.
3. Aspek Hukum
Menunjukkan bahwa teknologi ini sesuai dengan regulasi yang berlaku, baik terkait penggunaan fungisida, keselamatan kerja, maupun regulasi lingkungan. Proses sertifikasi dan perlindungan hak kekayaan intelektual juga sedang dalam jalur yang tepat.
4. Aspek Teknis dan Teknologi
Memastikan bahwa teknologi ini secara teknis dapat berfungsi dengan baik, dengan komponen yang andal dan mudah dioperasikan. Sistem pendekripsi penyakit dan aplikator fungisida bekerja secara efisien, meskipun membutuhkan perawatan rutin untuk menjaga kinerja optimal.
5. Aspek Keuangan
Menunjukkan bahwa teknologi ini layak secara finansial, meskipun biaya pengembangan dan produksi masih cukup tinggi, namun akan menurun dengan produksi massal. Pengembalian investasi (ROI) diprediksi positif, terutama dengan dukungan program subsidi dan skala produksi yang meningkat.
6. Aspek Ekonomi dan Sosial menilai bahwa teknologi ini memberikan dampak positif terhadap petani dengan meningkatkan pendapatan, produktivitas, dan kesejahteraan mereka. Teknologi ini juga memberdayakan petani untuk beradaptasi dengan pertanian modern dan mengurangi ketergantungan pada metode tradisional.

7. Aspek Lingkungan

Menunjukkan bahwa teknologi ini ramah lingkungan, mampu mengurangi penggunaan fungisida berlebihan, melindungi kualitas tanah dan air, serta sesuai dengan regulasi lingkungan. Penggunaan energi listrik mendukung pertanian berkelanjutan dan mengurangi jejak karbon.

Secara keseluruhan, semua aspek penilaian menunjukkan bahwa teknologi mesin aplikator fungisida berbasis AI ini layak diimplementasikan. Teknologi ini tidak hanya memberikan solusi yang efektif bagi petani, tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan dan pertanian di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

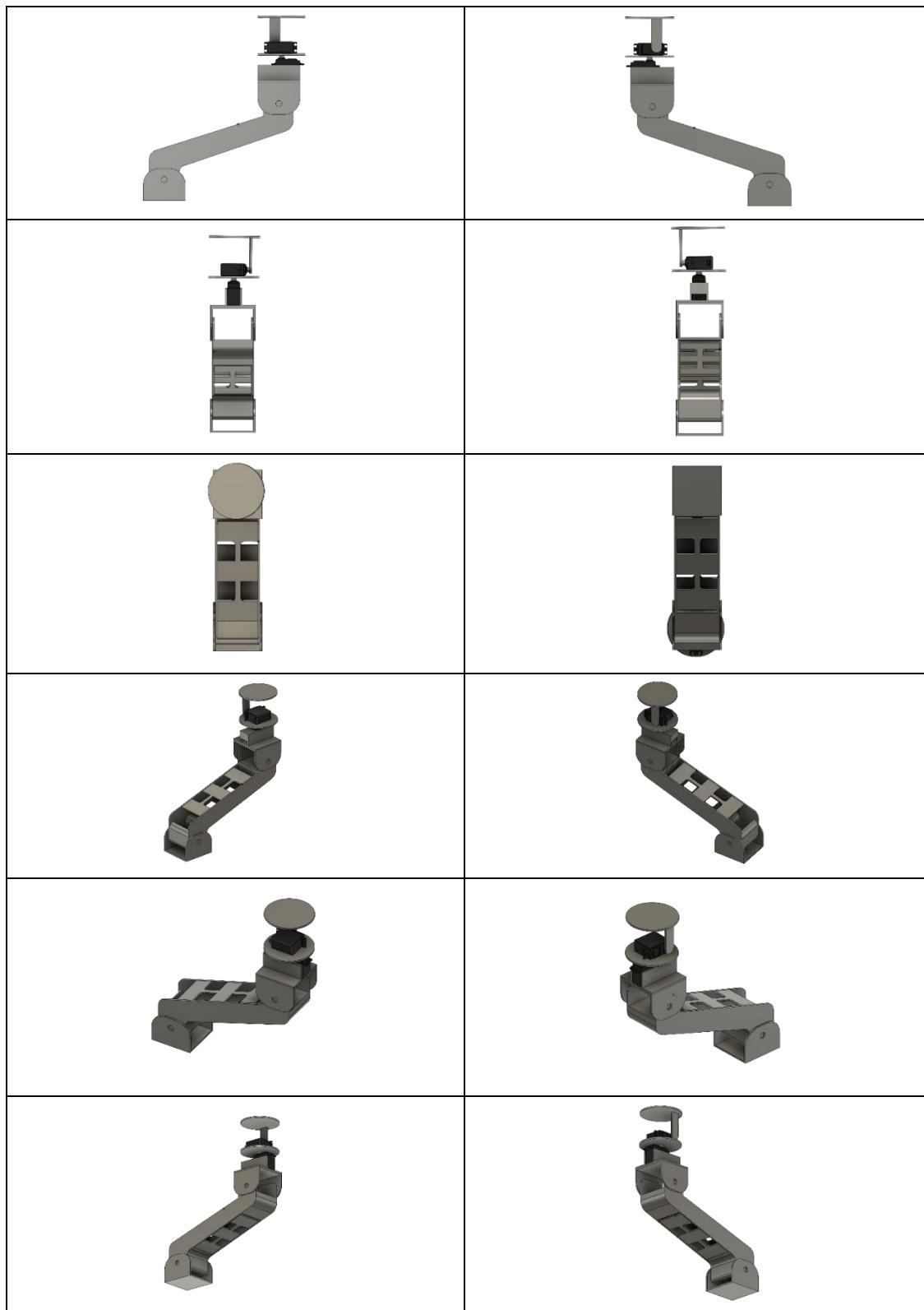
- Agus Surya Adi P Ip, Satya Kumara In, Raka Agung Igap. 2022. Status Perkembangan Sepeda Listrik Dan Motor Listrik Di Indonesia. *Jurnal Spektrum*. 8(4). Doi:10.24843/Spektrum.2021.V08.I04.P2.
- Agus Wibowo I. 2022. Studi Kelayakan Dan Perencanaan Bisnis (Feasibility Study And Business Plan). *Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik.*, Siap Terbit.
- Andri Da, Ahfas Aa, Indah Is. 2023. Sistem Monitoring Dan Protection Smart Charger Baterai Mobil Listrik Lithium Ion Berbasis Telegram. *Jecom Journal Of Electrical Engineering And Computer*. 5(2). Doi:10.33650/Jecom.V5i2.6876.
- Arifin J, Zulita Ln, Hermawansyah H. 2016. Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroller Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama*. 12(1). Doi:10.37676/Jmi.V12i1.276.
- Arifudin M. 2015. Final Project (Design)-Tm091486 Structural Design Of Levitated Train Prototype With Electromagnetic Actuator. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember.*, Siap Terbit.
- Bandaru Sh, Becerra Vm, Khanna S, Espargilliere H, Sevilla Lt, Radulovic J, Hutchinson D, Khusainov R. 2021. A General Framework For Multi-Criteria Based Feasibility Studies For Solar Energy Projects: Application To A Real-World Solar Farm. *Energies (Basel)*., Siap Terbit.
- Borchers M. 2023. A Comprehensive Assessment Of Carbon Dioxide Removal Options For Germany.
- Dian C, Suri M. 2022. Studi Kelayakan Bisnis Aspek Keuangan Pada Bisnis Peternak Lembu Di Desa/Nagori Bahjoga Kabupaten Simalungun. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 4(2).
- Dwinanto B, Yulianto B. 2024. Rancang Bangun Repeater Lora Rfm95 Dengan Frekuensi 915 Mhz Berbasis Esp32. *Cerdika: Jurnal Ilmiah Indonesia*. 4(2). Doi:10.59141/Cerdika.V4i2.752.
- Hagman L. 2018. How Do Biogas Solutions Influence The Sustainability Of Bio-Based Industrial Systems?
- Halim I. 2021. Analisis Aspek Hukum Pada Studi Kelayakan Bisnis. *Skripsi: Uin Alauddin Makassar.*, Siap Terbit.
- Halima As. 2024. Non-Financial Feasibility Analysis On The Utilization Of Cattle Livestock Waste As A Biogas. *Journal Of Community Based Environmental Engineering And Management.*, Siap Terbit.

- Nalle Y, Proteksi D, Fakultas Pertanian T. 2022. Deteksi Empat Organisme Pengganggu Utama Tanaman Padi Menggunakan Artificial Intelligence Of Things (Aiot) Berbasis Citra Kamera Digital.
- Nazila Sf, Arman Y, Wahyuni D, Nurhasanah N, Putra Ys. 2023. Deteksi Dini Serangan Hama Penyakit Pada Cabai Rawit Menggunakan Metode Image Recognition. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi.* 9(2). Doi:10.28932/Jutisi.V9i2.6342.
- Neto As. 2017. Preliminary Economic Study Of Biodiesel Production From Pequi In Brazil. *Open Access Journal Of Science.*, Siap Terbit.
- Pakereng Ym, Hutar Anr, Kelen Lhs, Radja M, Humba Ynr, Limu Enk, Suryani Dc, Kudji Mrr, Mbakundima Am. 2022. Studi Kelayakan Dan Magang Usaha Pada Badan Usaha Milik Desa (Bumdesa) Kuta Sejahtera, Kabupaten Sumba Timur. *Servirisma.* 2(1). Doi:10.21460/Servirisma.2022.21.17.
- Razif M. 2018. Peranan Aspek Lingkungan Dalam Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas. *Jurnal Manejemen Aset Infrastruktur & Fasilitas.* 2(2). Doi:10.12962/J26151847.V2i2.4342.
- Reeb C, Venditti Ra, Gonzalez R, Kelley Ss. 2016. Environmental Lca And Financial Analysis To Evaluate The Feasibility Of Bio-Based Sugar Feedstock Biomass Supply Globally: Part 2. Application Of Multi-Criteria Decision-Making Analysis As A Method For Biomass Feedstock Comparisons. *Bioresources.*, Siap Terbit.
- Rio Sayang Juliandi, Mardiana, Tampubolon D. 2021. Analisis Aspek Ekonomi Dan Sosial Kota Pekanbaru Sebagai Kota Layak Huni. *Revenue : Jurnal Ekonomi Pembangunan Dan Ekonomi Islam.* 4(02). Doi:10.56998/Jr.V4i02.36.
- Sari Dp. 2023. Feasibility Analysis Of Sumedang Tofu Msme Business With Its Development Strategy. *Jebin.*, Siap Terbit.
- Sari Gp, Sukardi S. 2020. Kendali Alat Pelontar Bola Tenis Lapangan Berbasis Mikrokontroler. *Jtein: Jurnal Teknik Elektro Indonesia.* 1(2). Doi:10.24036/Jtein.V1i2.65.
- Sari Ta. 2019. Perencanaan Bisnis Katering Bayi Dan Anak Maestro Di Kota Semarang. *Praxis.* 1(2). Doi:10.24167/Praxis.V1i2.1813.
- Setiawan H. 2021. Setiawan. *Teknologi Informasi Dan Komunikasi Yang Berkesinambungan Dan Berorientasi Layanan.*, Siap Terbit.
- Suhartono S, Gunawan Zain S, Sugiawan S. 2022. Sistem Object Recognition Plat Nomor Kendaraan Untuk Sistem Parkir Bandara. *Journal Of Embedded Systems, Security And Intelligent Systems.* 3(2). Doi:10.26858/Jessi.V3i2.38458.

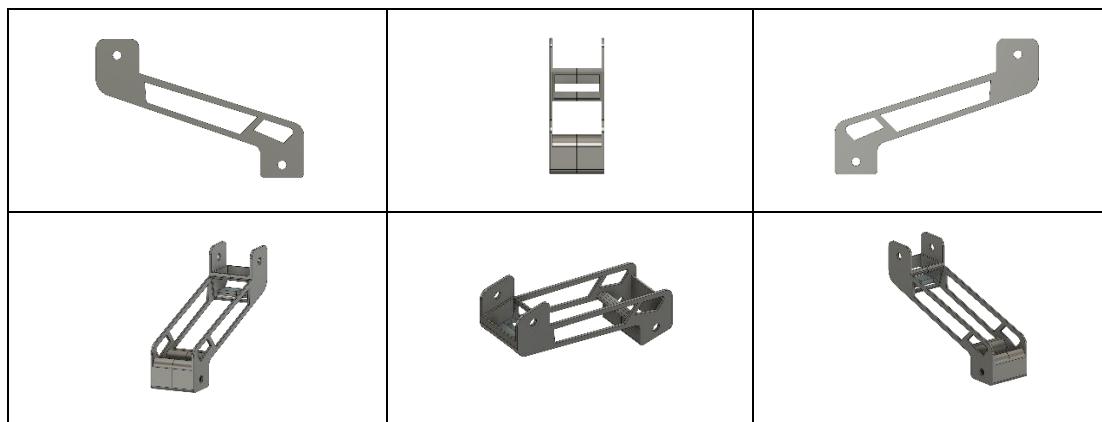
- Supriyadi S, Burhanudin A, Setiyoadi Y, Setyono Ib. 2020. Analisis Kinerja Ventilator Mekanis Dengan Pengerak Motor Stepper Berbasis Arduino. *Seminar Nasional Hasil Penelitian (Snhp).*, Siap Terbit.
- Swan Kh. 2023. Investigation Of Decentralized Wastewater Treatment System In Urban Wastewater Management: Case Study In Yangon, Myanmar. *Sustainability.*, Siap Terbit.
- Wijayanto W, Setiawan R. 2023. Studi Analisis Kelayakan Pendirian Bisnis Restoran Italian Healty Food“Fabio” Di Senopati Jakarta. *Jurnal Riset Bisni.* 7(1).
- Yahya L Mahesa, Zahra R, Tsabatiyya N, Junas I, Saskia D. 2023. Analisis Kelayakan Bisnis Bags & Crafts Ecoprint Ditinjau Dari Aspek Pemasaran, Teknik Dan Teknologi (Studi Kasus Pada Ecopaliko Kab. Lima Puluh Kota, Payakumbuh). *Journal Of Social Science Research.* 3.
- Zulkifli Z. 2021. Sistem Pendekripsi Penyakit Tanaman Padi Berbasis Artificial Intelligence. *Jurnal Tika.* 6(03). Doi:10.51179/Tika.V6i03.813.

LAMPIRAN

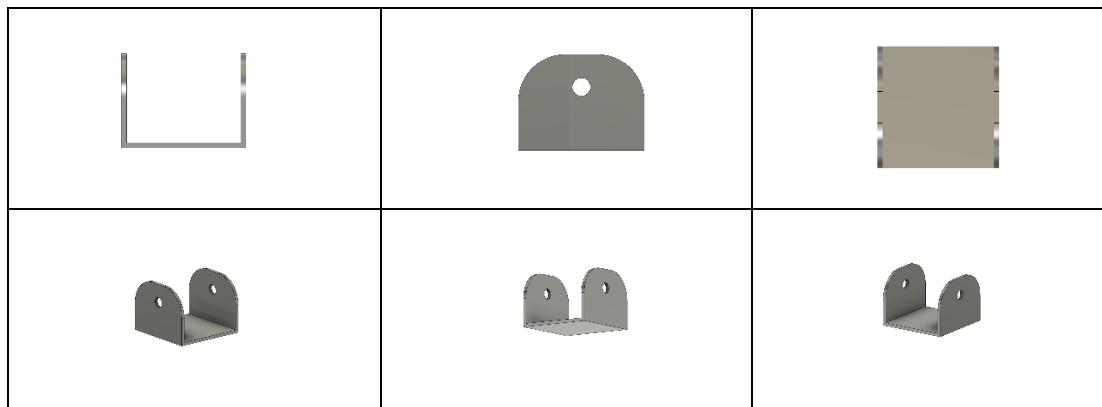
Lampiran 1 Desain (2D dan 3D) mekanik keseluruhan ARM



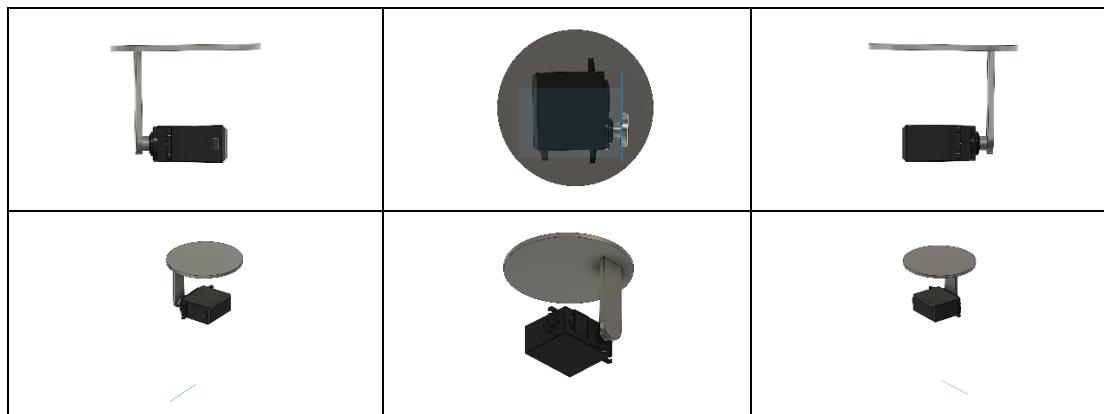
Lampiran 2 Desain (2D dan 3D) part ARM, part engsel penggerak, part penggerak actuator atas



Lampiran 3 Desain (2D dan 3D) part engsel penggerak



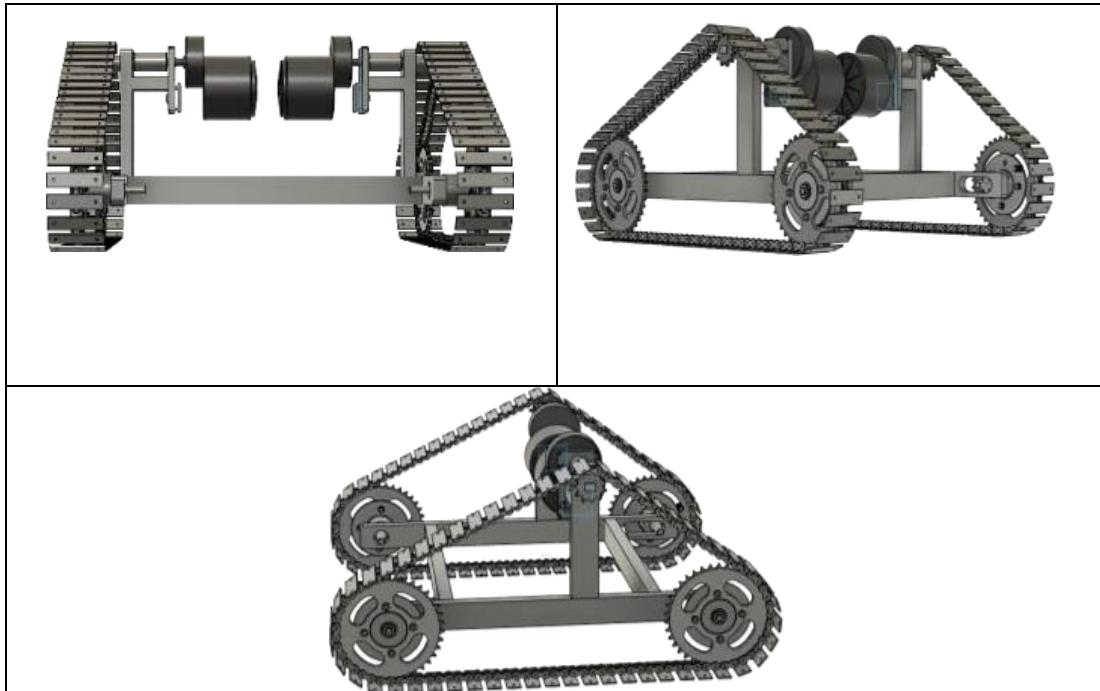
Lampiran 4 Desain (2D dan 3D) part penggerak actuator atas



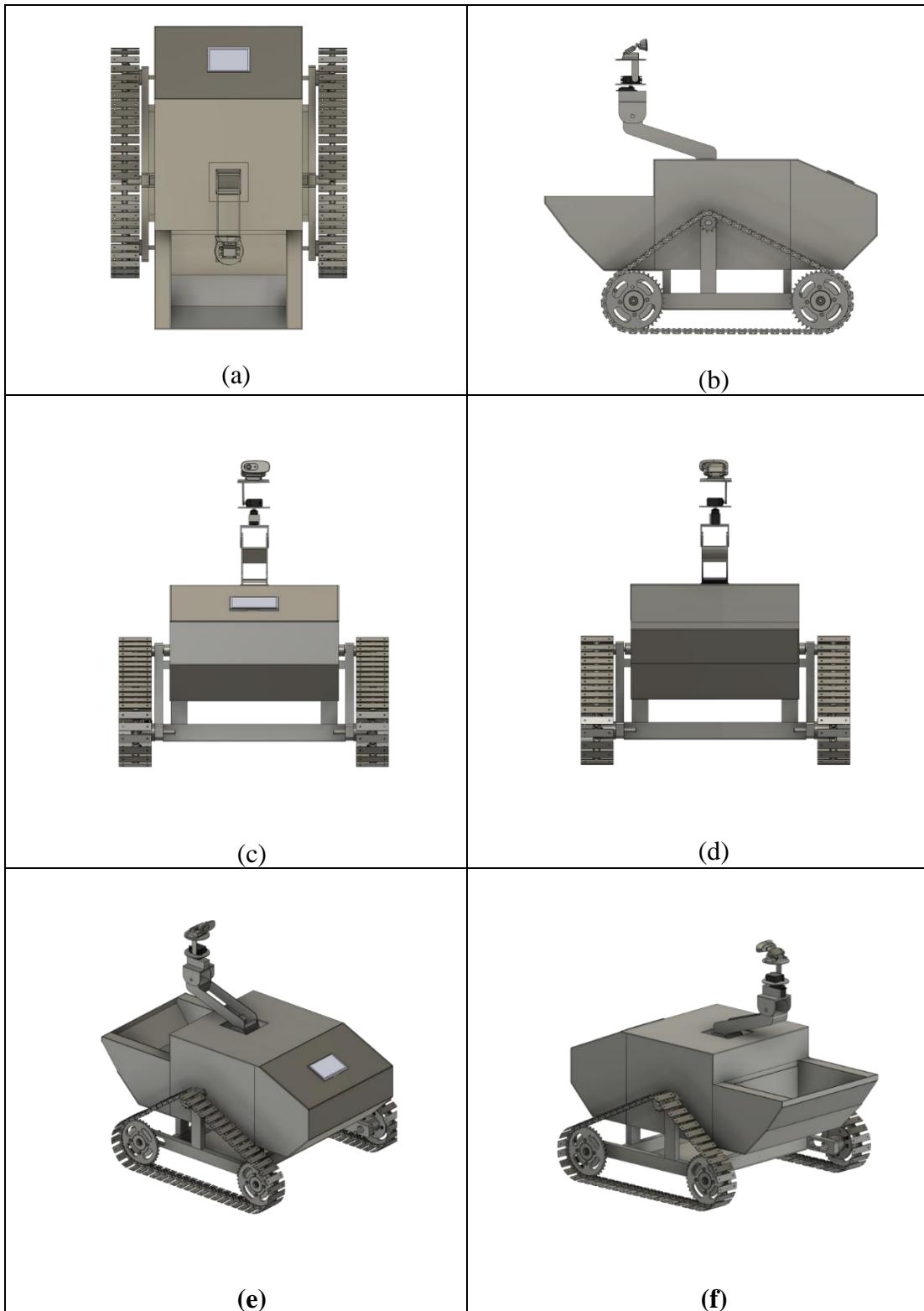
Lampiran 5 Desain (2D dan 3D) part penjepit actuator



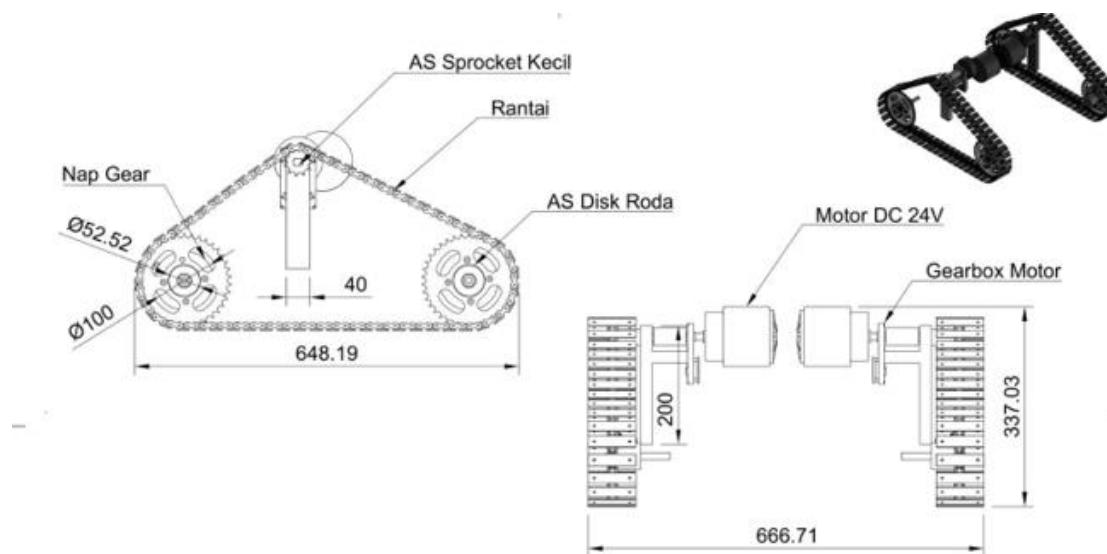
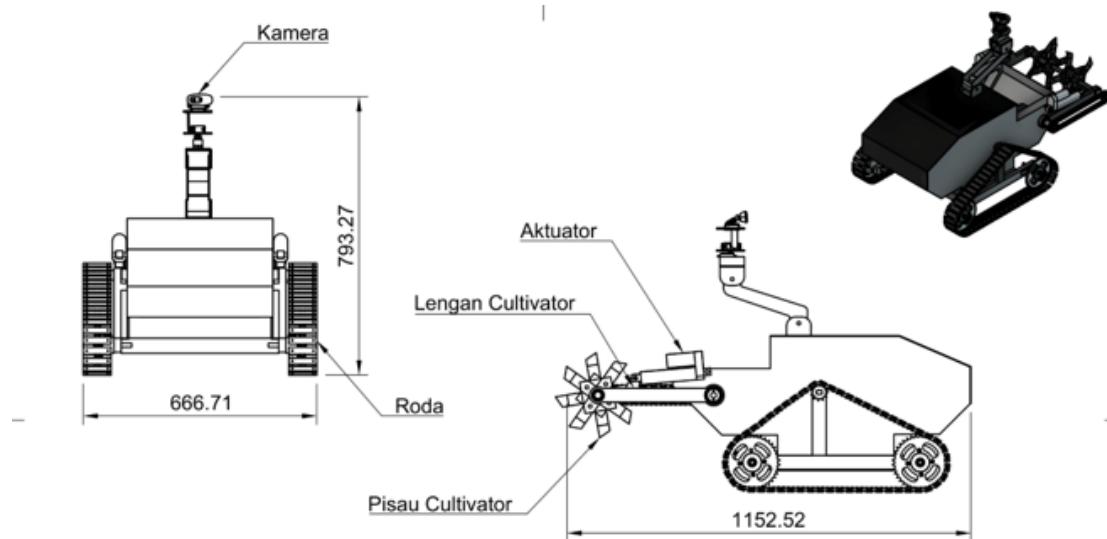
Lampiran 6 Desain rancangan roda



Lampiran 7 Desain robot



Lampiran 8 Gambar Teknik robot



Lampiran 9 *Code* program pin terhubung ke Arduino mega

```
● ● ●

#ifndef Configuration_H
#define Configuration_H

// DEVICE CONFIGURATION
#define DEBUG_BAUD 9600

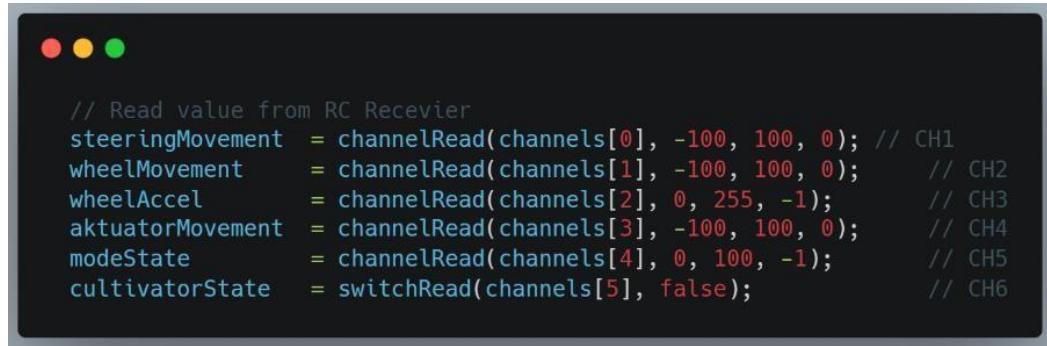
// PIN CONFIGURATION
const int channels[6]          = {2, 3, 4, 5, 6, 7}; // CH1, CH2, CH3, CH4, CH5, CH6

const int motorLeft[2]          = {8, 9};
const int motorRight[2]         = {10, 11};
const int leftAktuator[2]       = {32, 33};
const int rightAktuator[2]      = {28, 29};
const int motorCultivator[2]     = {34, 35};

// MOTOR DRIVER STATE DECLARATION
const int idleStates[2]         = {0, 0};
const int activeForwardStates[2] = {1, 0};
const int activeBackwardStates[2] = {0, 1};

#endif
```

Lampiran 10 *Code* program pembacaan *channel receiver*

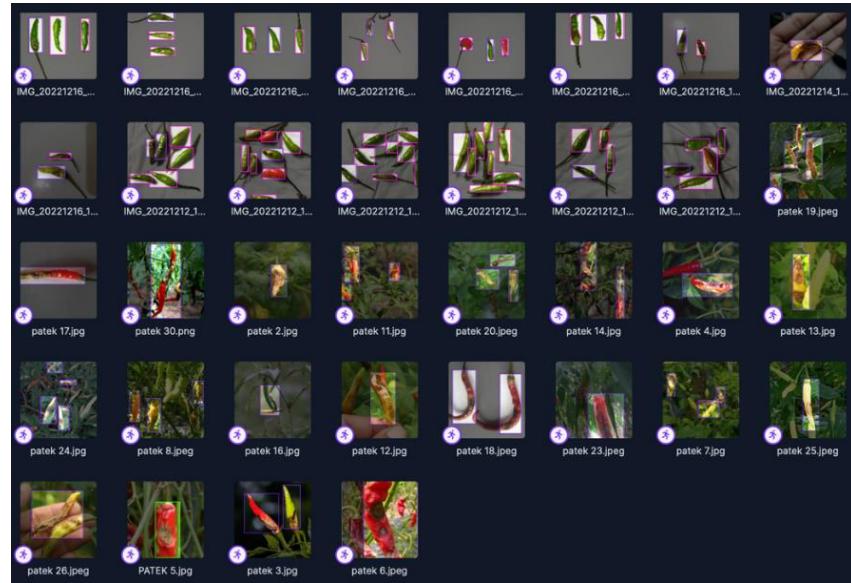


```
// Read value from RC Receiver
steeringMovement = channelRead(channels[0], -100, 100, 0); // CH1
wheelMovement = channelRead(channels[1], -100, 100, 0); // CH2
wheelAccel = channelRead(channels[2], 0, 255, -1); // CH3
aktuatorMovement = channelRead(channels[3], -100, 100, 0); // CH4
modeState = channelRead(channels[4], 0, 100, -1); // CH5
cultivatorState = switchRead(channels[5], false); // CH6
```

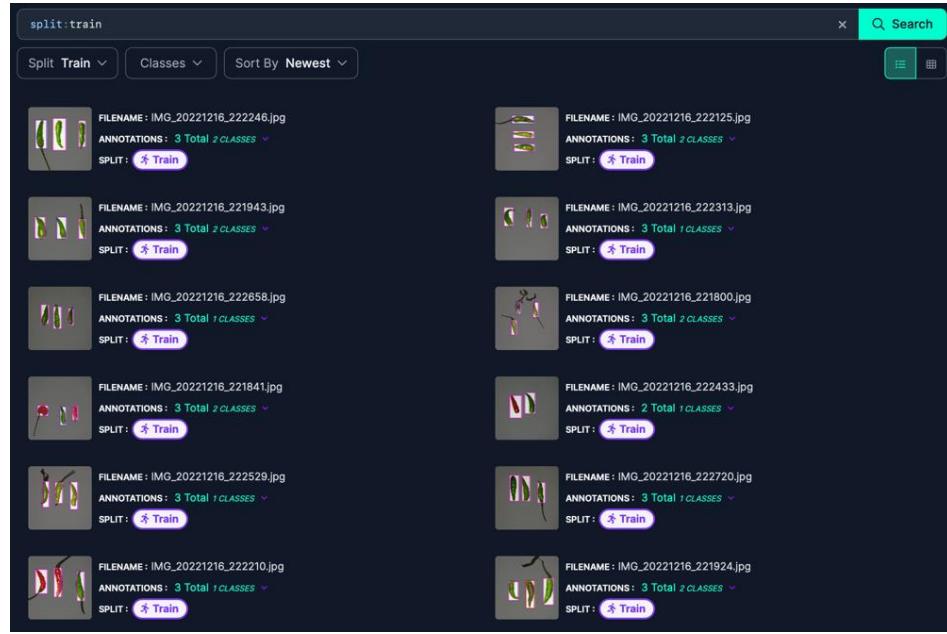
Lampiran 11 Hasil augmentasi gambar



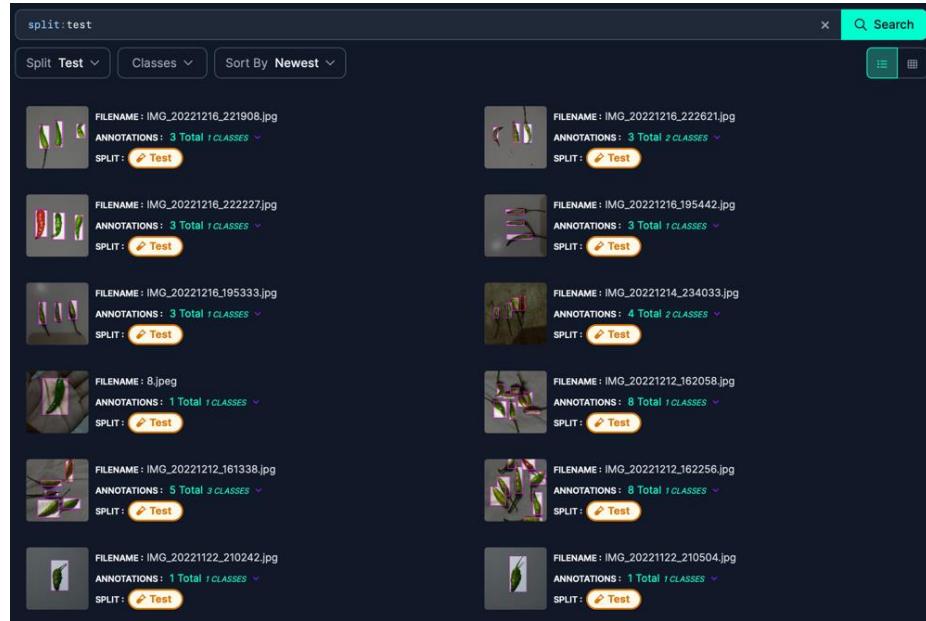
Lampiran 12 Hasil pelabelan gambar



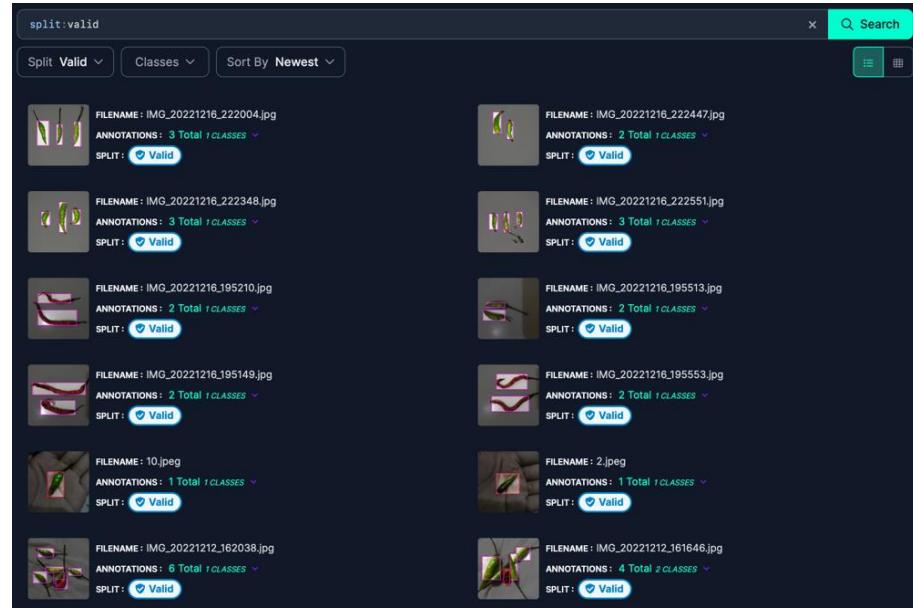
Lampiran 13 Data latih



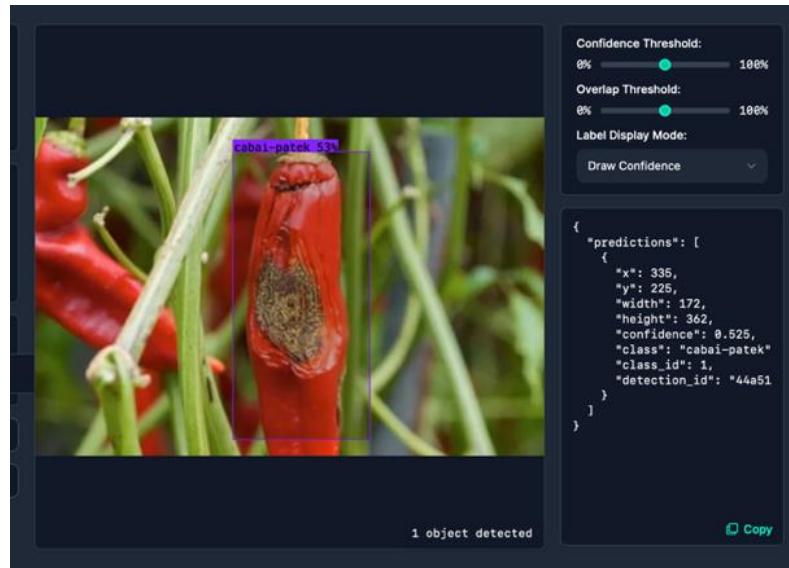
Lampiran 14 Data uji



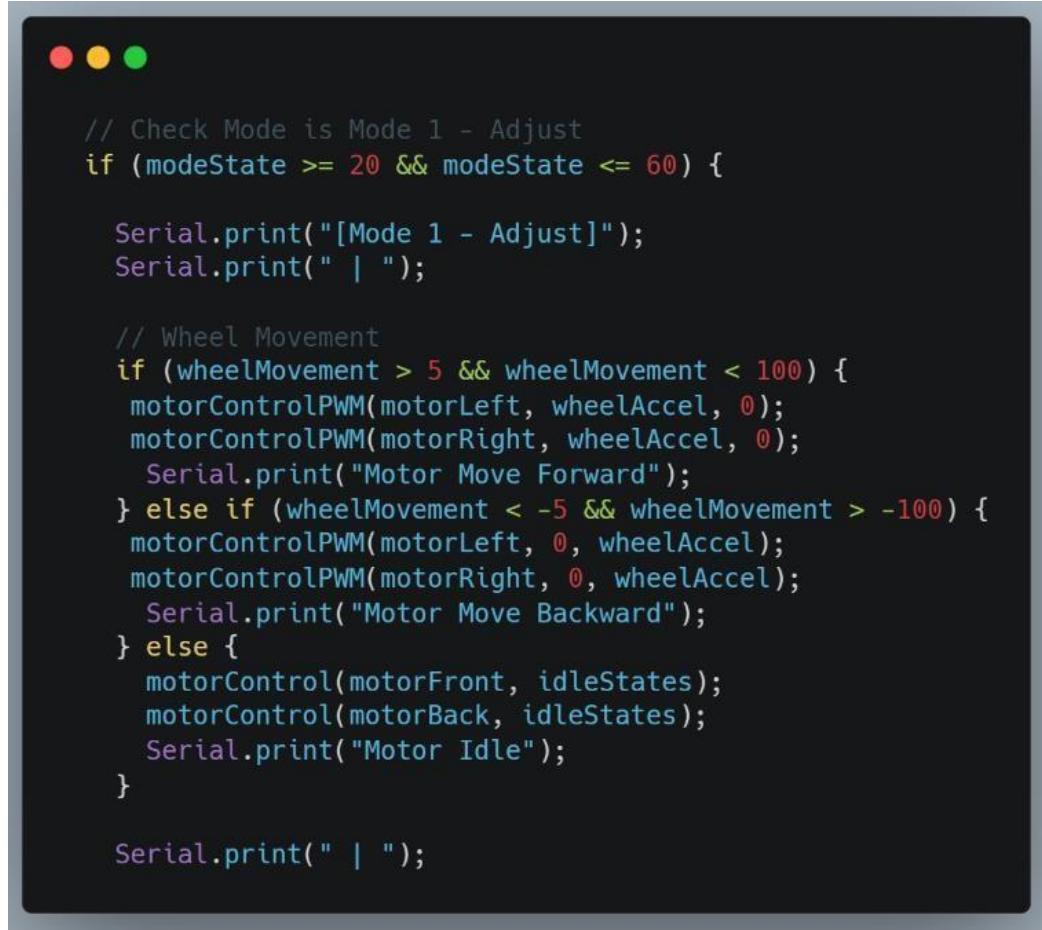
Lampiran 15 Data validasi



Lampiran 16 Pengujian lapang



Lampiran 17 *Code* program kendali sistem gerak maju/mundur dan belok roda



```
// Check Mode is Mode 1 - Adjust
if (modeState >= 20 && modeState <= 60) {

    Serial.print("[Mode 1 - Adjust]");
    Serial.print(" | ");

    // Wheel Movement
    if (wheelMovement > 5 && wheelMovement < 100) {
        motorControlPWM(motorLeft, wheelAccel, 0);
        motorControlPWM(motorRight, wheelAccel, 0);
        Serial.print("Motor Move Forward");
    } else if (wheelMovement < -5 && wheelMovement > -100) {
        motorControlPWM(motorLeft, 0, wheelAccel);
        motorControlPWM(motorRight, 0, wheelAccel);
        Serial.print("Motor Move Backward");
    } else {
        motorControl(motorFront, idleStates);
        motorControl(motorBack, idleStates);
        Serial.print("Motor Idle");
    }

    Serial.print(" | ");
}
```